

# Marvell-pohjaisten WLAN-moduulien tutkimus

Jaakko Nissinen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



**Savonia**  
ammattikorkeakoulu



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Elektroniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Jaakko Nissinen	
Työn nimi Marvell-pohjaisten WLAN-moduulien tutkimus	
Päiväys 9.5.2011	Sivumäärä/Liitteet 43/4
Ohjaaja(t) yliopettaja Väinö Maksimainen, yliopettaja Arto Toppinen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli toimia esiselvityksenä Lange-hankkeessa, jonka vetäjänä Savonia-ammattikorkeakoulu toimii. Yhtenä hankkeen tutkimuskohteista on Marvellin 88W8686-piiriin pohjautuvien WLAN-moduulien hyödyntäminen langattomissa sensoriverkoissa.</p> <p>Opinnäytetyötä tehtiin tutkimalla kolmen eri laitevalmistajan WLAN-moduuleja, jotka perustuvat Marvellin kehittämään 88W8686-piiriin. Tutkittujen moduulien valmistajat ovat Connect One, Laird ja Wi2Wi. Myös aikatahdistuksen toteuttamisen mahdollisuutta WLAN-moduuleilla tutkittiin. Aikatahdistuksen toteuttamista tutkittiin testaamalla WLAN-moduulien ominaisuuksia ja etsimällä tietoa valmistajien tarjoamista manuaaleista.</p> <p>Opinnäytetyössä ei ollut tarkoituksena suunnitella mitään valmista laitetta, vaan kerätä tietoa tutkituista laitteista ja niiden käyttömahdollisuuksista Savonia-ammattikorkeakoululle ja Lange-hankkeen yhteistyökumppaneille. Lopputuloksena saatiin, ettei tutkituilla WLAN-moduuleilla ole mahdollista toteuttaa aikatahdistusta ilman erillistä mikrokontrolleria.</p>	
Avainsanat Marvell, aikatahdistus, WLAN	
Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electronic Engineering			
Author(s) Jaakko Nissinen			
Title of Thesis Research of Marvell Based WLAN Modules			
Date	9 May 2011	Pages/Appendices	43/4
Supervisor(s) Mr. Väinö Maksimainen, Principal Lecturer, Mr. Arto Toppinen, Principal Lecturer			
Project/Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to act as a preliminary report in the Lange project. Savonia University of Applied Sciences is in charge of the Lange project. One of the Lange project's goals is to know how WLAN modules that are based on the Marvell 88W8686 chip can be used in wireless sensor networks.</p> <p>This thesis was done by examining WLAN modules from three different manufactures that make products that are based on the Marvell 88W8686 chip. The manufacturers of these modules are Connect One, Laird and Wi2Wi. Another part of this thesis was to study how time synchronization could be implemented with devices that were available in the project. This part of the thesis was done by researching features of the WLAN modules and by studying manuals and application notes that were available.</p> <p>The aim of this thesis was not to design any product that would be ready for manufacturing but to collect information of the devices that were studied. This information is supposed benefit Savonia University of Applied Sciences and all the affiliates of the Lange project. The result of this thesis is that it is not possible to implement time synchronization with the researched WLAN modules without using an external microcontroller.</p>			
Keywords Marvell, time synchronization, WLAN			
Public			

## ALKUSANAT

Tätä opinnäytetyötä tehtiin Kuopiossa vuoden 2011 kevättalven aikana. Opinnäytetyön aiheena oli WLAN-moduulien tutkimus. Lisäksi tutkittiin kuinka niillä olisi mahdollista toteuttaa aikatahdistusta. Työn tekeminen oli erittäin haastavaa mutta mielenkiintoista, koska uusien asioiden oppiminen motivoi työn tekemistä.

Haluan kiittää yliopettaja Väinö Maksimaista ja yliopettaja Arto Toppista opinnäytetyöni ohjaamisesta. Arto Toppista haluan kiittää myös opinnäytetyön aiheen antamisesta. Kiitokset kuuluvat myös koko Lange-hankkeen henkilöstölle ja kaikille hankkeen yhteisyökumppaneille.

Kuopiossa 9.5.2011

Jaakko Nissinen

# SISÄLTÖ

LYHENTEET JA KÄSITTEET .....	8
1 JOHDANTO .....	10
2 LANGE-HANKE.....	11
2.1 Kehitystarve.....	11
2.2 Hankkeen tavoite ja merkitys .....	11
2.3 Käyttöön valittu tekniikka .....	12
2.4 Hankkeen yhteistyökumppanit .....	12
3 LANGATTOMAN SENSORIVERKOT.....	13
4 AIKATAHDISTUS.....	14
4.1 Reference Broadcast Synchronization.....	14
4.1.1 Periaate.....	14
4.1.2 Multi-hop RBS .....	15
4.1.3 Aikatahdistuksen virheet.....	16
4.2 Network Time Protocol .....	18
4.3 Simple Network Time Protocol.....	19
5 TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT LAITTEET JA OHJELMAT.....	20
5.1 Marvell 88W8686.....	20
5.2 Connect One .....	21
5.2.1 Connect One iChip .....	21
5.2.2 Nano Socket iWiFi -moduuli .....	22
5.2.3 Nano WiReach -moduuli.....	24
5.2.4 II-EVB-363.....	25
5.2.5 iChip Config.....	26
5.3 Laird .....	27
5.3.1 WLM400/402 .....	27
5.3.2 DVK-WLM402 .....	29
5.3.3 Wism+ Configuration Tool .....	30
5.4 Wi2Wi.....	31
5.4.1 W2SW0001 .....	31
5.4.2 W2SW0001-DEV.....	32
5.5 Atmel.....	33
5.5.1 SAM3U4E .....	33
5.5.2 SAM3U-EK.....	34
6 TYÖN TOTEUTUS .....	35
6.1 Wi2Wi.....	35
6.2 Laird .....	35

6.3 Connect One .....	36
6.4 Lisätutkimus.....	37
7 TULOKSET JA PÄÄTELMÄT .....	40
7.1 Wi2Wi.....	40
7.2 Laird .....	40
7.3 Connect One .....	41
8 YHTEENVETO.....	42
LÄHTEET.....	43
LIITTEET	
Liite 1 Experiment report	
Liite 2 Experiment report	

## LYHENTEET JA KÄSITTEET

Ad hoc	Langattomien lähiverkkojen yhteystapa, jossa ei tarvita erillistä tukiasemaa langattomien laitteiden väliseen liikennöintiin.
Auto fallback	WLAN-tekniikassa käytettävä automaattinen siirtonopeuden säätö suhteessa signaalin voimakkuuteen.
Ethernet	Yleisimmin käytössä oleva pakettipohjainen lähiverkkotekniikka.
IEEE 802.11	IEEE:n luoma standardi langattomille lähiverkoille.
IP	(Internet Protocol) Internet-kerroksen protokolla joka huolehtii IP-tietoliikennepakettien perille toimittamisesta pakettikytkentäisessä verkossa.
ISM	(Industrial, Scientific and Medical) ISM-taajuusalue on vapaasti käytettävissä oleva maailmanlaajuinen radiotaajuuskaista, jonka käyttäminen ei siis vaadi erillistä lupaa.
MAC	(Media Access Control address) Verkkosovittimen ethernet-verkossa yksilöivä osoite.
MII	(Media Independent Interface) Standardirajapinta jota käytetään nopean ethernetin MAC-lohkon yhdistämiseen PHY-lähetin-vastaanottimeen.
NTP	(Network Time Protocol) UDP-pohjainen aikatahdistusprotokolla, jota käytetään aikatiedon välittämiseen tietokoneiden välillä.
PHY	PHY on lyhenne OSI-mallin fyysisestä kerroksesta.
PPP	(Point-to-Point Protocol) Yleisesti käytössä oleva protokolla, jota käytetään suoran yhteyden muodostamiseen verkkolaitteiden välillä.
RBS	(Reference Broadcast Synchronization) Aikatahdistusmenetelmä, jossa käytetään vastaanotin-vastaanotin -periaatetta aikatahdistuksessa.
RMII	(Reduced Media Independent Interface) MII-standardista kehitetty standardi jossa on vähennetty vaadittavien signaalien/pinnien määrää.
SoC	(System-on-Chip) Tarkoittaa yksittäiselle piirille integroitua tietokonetta tai muuta elektronista järjestelmää.
SiP	(System-in-Package) Tarkoittaa yksittäiseen koteloon tai moduuliin pakattuja mikropiirejä.



TCP	(Transmission Control Protocol) Tietoliikenneprotokolla, jolla voidaan luoda yhteyksiä sellaisten tietokoneiden välille, joiden on mahdollista päästä internetiin.
UDP	(User Datagram Protocol) Protokolla, joka ei vaadi laitteiden välille yhteyttä, mutta mahdollistaa tiedostojen siirron.
SNTP	(Simple Network Time Protocol) NTP-protokollan yksinkertaistettu versio, josta on jätetty pois joitakin algoritmeja.
WLAN	(Wireless Local Area Network) Langaton lähiverkkotekniikka, jolla voidaan yhdistää erilaisia verkkolaitteita langattomasti.

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on osa Lange-hanketta, jonka tutkimus- ja kehitystyö jatkuu vielä tämän työn valmistumisen jälkeen. Tämä opinnäytetyö on esiselvitys muutaman eri laitevalmistajan WLAN-moduuleista, jotka perustuvat Marvelliin 88W8686-piiriin. Näihin laitteisiin liittyvää tietoa on tarkoitus kerätä Savonia-ammattikorkeakoululle ja Lange-hankkeessa mukana oleville yhteistyökumppaneille.

Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena ei ole tuottaa valmista laitetta, vaan tutkia Lange-hankkeessa käytössä olevien laitteiden käyttömahdollisuuksia langattoman sensoniverkon aikatahdistuksessa ja tiedonsiirrossa.

WLAN-moduulien tutkimisessa tietoa hankitaan laitevalmistajien manuaaleista, ja niiden testikäytössä on tarkoitus käyttää laitevalmistajien mahdollisesti laitteidensa mukana tarjoamia ohjelmistoja.

## 2 LANGE-HANKE

### 2.1 Kehitystarve

Erinäisissä tutkimussovelluksissa, kuten esimerkiksi liiketutkimuksissa ja fysiologisissa tutkimuksissa, on usein tarvetta monikanavaiselle langattomalle tiedonsiirrolle usealta toisiinsa aikatahdistetulta sensorilta. Tämänäköisissä tutkimussovelluksissa aikatahdistuksen tarkkuus on oltava vähintään 100  $\mu$ s. [1]

Neurologisten potilaiden EEG-mittauksissa on oleellista, että mittaus on helppo aloittaa ja mittauksen seuraaminen on sujuvaa siirryttäessä esimerkiksi ambulanssista ensiapuun ja edelleen teho-osastolle. Tämänkaltaisessa tilanteessa sensorien langaton liittäminen parantaa käytettävyyttä huomattavasti verrattuna tämänhetkisiin ambulansseissa käytettävissä oleviin tiedonsiirtojärjestelmiin. [1]

### 2.2 Hankkeen tavoite ja merkitys

Lange-hankkeen tavoitteena on kehittää IP-pohjainen, aikatahdistettu, langaton mitausjärjestelmäpohja. Kehitettävän järjestelmän on pystyttävä siirtämään dataa riittävän suurella nopeudella ja sen tulee kuluttaa erittäin vähän energiaa, koska tulevan laitteen on toimittava akku- tai paristokäyttöisenä. [1]

Hankkeen suurin tekninen haaste on saada usean langattoman anturin mittaukset toisiinsa aikatahdistettuina reaaliaikaisesti päätelaitteeseen. Lisähaasteena on myös riittävän kaistanleveyden saavuttaminen akkukäyttöisestä anturista, jotta sensorin käyttöikä ei lyhene kovin merkittävästi. [1]

Hankkeella voidaan saavuttaa tuoreinta IP-pohjaiseen sensoriverkkotekniikkaan liittyvää tietotaitoa yhteistyökumppaneina toimiville yrityksille ja Savonia-ammattikorkeakoululle koulutukseen. Lange-hankkeen sovellusalueilla uusimmalla langattomalla tekniikalla on mahdollista parantaa merkittävästi lääketieteellisiä mittauksia ja niiden käytettävyyttä. [1]

### 2.3 Käyttöön valittu tekniikka

Hankkeen tiedonsiirron nopeusvaatimuksien vuoksi, valittiin käytettäväksi langattomaksi tiedonsiirtotekniikaksi WLAN-tekniikka. WLAN-tekniikkaa on aiemmin pidetty liian energiatehottomana akkukäyttöisiin laitteisiin, koska langattoman laitteen vastaanotinta on pidettävä jatkuvasti päällä ja lähettimen tehon mukaan voi hetkellinen tehonkulutus olla suurta. [2]

Tärkein yksityiskohta WLAN-tekniikassa ei ole sen tiedonsiirtonopeus, vaan tiedonsiirtonopeuden säädettävyyys. Lyhyillä etäisyyksillä voidaan käyttää suurta tiedonsiirtonopeutta, jolloin tiedonsiirto tapahtuu erittäin energiatehokkaasti. Vastaavasti pidemmillä etäisyyksillä WLAN-tekniikassa oleva auto fallback -ominaisuus pienentää tiedonsiirtonopeutta, jolloin yhteyden katkeamista voidaan paremmin välttää. [2]

### 2.4 Hankkeen yhteistyökumppanit

Lange-hankkeessa vetäjänä on Savonia-ammattikorkeakoulun Teknologia ja ympäristöalan Informaatiotekniikan kehitysyksikkö ja yhteistyökumppaneina ovat Itä-Suomen yliopisto, Kuopion yliopistollinen sairaala, Delfin Technologies Oy, Hoxville Oy ja Mega-Elektroniikka Oy.

Yhteistyökumppanit voivat hyödyntää hankkeessa saavutettavaa tietoa. Esimerkiksi Delfin Technologies Oy ja Mega-Elektroniikka Oy voivat hyödyntää saavutettavaa tietoa lääketieteellisissä sovelluksissa ja Hoxville Oy puolestaan teollisissa sovelluksissa.

### 3 LANGATTOMAN SENSORIVERKOT

Langattomat sensoriverkot koostuvat pienikokoisista ja edullisista sensorisolmuista. Älykkäät sensorisolmut kuluttavat vähän energiaa ja ne koostuvat mikrokontrollerista, muistista, energialähteestä, lähetin-vastaanottimesta ja yhdestä tai useammasta sensorista. Solmujen sensorit voivat mitata erilaisia ympäristön fyysisiä suureita, kuten lämpötilaa tai ilman kosteutta. [3]

Koska sensorisolmut useimmiten sijoitetaan hankaliin paikkoihin, on niiden käytön edellytyksenä monesti paristokäyttöisyys ja langaton tiedonsiirto. Langattomien sensoriverkkojen sensorisolmun energianlähteenä toimii tavallisesti akku tai paristo, mutta esimerkiksi ulkona sijaitsevien sensorisolmujen rajallisen energianlähteen toimintaa voidaan jatkaa aurinkoenergiaa hyödyntämällä. [3]

Langattomissa sensoriverkoissa ei monesti ole infrastruktuuria ollenkaan tai se on erittäin vähäistä. Langattomat sensoriverkot koostuvat tietyistä määrästä langattomia sensorisolmuja, joita voi olla esimerkiksi muutamia kymmeniä tai jopa tuhansia. Tämä tietenkin riippuu verkon laajuudesta. Langattomia sensoriverkkoja on olemassa kahta eri tyyppiä: jäsentyneitä ja hajanaisia. [3]

- Hajanaisissa sensoriverkoissa sensorisolmut ovat tiheässä ja ne on sijoitettu monitoroitavaan ympäristöön ad hoc -menetelmällä. Sensorit voidaan jättää huomiotta valvomaan ympäristöään ja raportoimaan siitä. Tämän tyyppisessä sensoriverkossa verkon ylläpitäminen, yhteyksien hallinta ja vikojen paikantaminen on vaikeaa, koska sensorisolmuja on erittäin paljon. [3]
- Jäsentäytyneiden sensoriverkkojen etu on, että ympäristöön voidaan sijoittaa vähemmän sensorisolmuja, jolloin verkon ylläpitoa ja kustannuksia voidaan laskea. Sensorisolmujen määrän vähentäminen on mahdollista, koska tällöin sensorisolmut sijoitetaan tietyille paikoille, joissa ne kattavat tietyn alueen ja ad hoc -menetelmän kaltaisia kattamattomia alueita ei jää. [3]

## 4 AIKATAHDISTUS

Aikatahdistus on tärkeä osa infrastruktuuria missä tahansa hajautetussa järjestelmässä. Sensoriverkoissa erilaisten tekijöiden summautumisen takia joustava ja vahva aikatahdistus on erityisen tärkeää, mutta samalla se on myös erittäin vaikea saavuttaa verrattuna perinteisiin verkkoihin. [4]

Langattoman sensoriverkon solmujen yhteistyötä tarvitaan usein, jotta voidaan vähentää datan määrää, joka on tärkeää energiatehokkuuden takia. Sensorisolmujen yhteinen näkemys fyysisestä ajasta on edellytys sille, että ne voisivat järkevästi havaita fyysisessä maailmassa sattuvia tapahtumia. Esimerkki ajan tarkkuudesta on äänennopeuden mittaaminen: on tiedettävä tarkasti, millä hetkellä ääni alkaa kuulua mittauspisteessä, joka on tietyllä etäisyydellä äänilähteestä. [4]

Langattomien sensoriverkkosovellusten vaatimukset vaihtelevat laajalti monien eri tekijöiden välillä. Joissakin sovelluksissa vaaditaan erittäin tarkkaa aikaa samalla, kun sensorin akun tai pariston kuitenkin olisi kestävä pitkästi. [4]

### 4.1 Reference Broadcast Synchronization

#### 4.1.1 Periaate

RBS-aikatahdistuksessa käytetään hyödyksi langattoman tiedonvälityksen läheisyominaisuutta. Referenssilähetys ei sisällä tarkkaa aikaleimaa, vaan sen sijasta vastaanottimet käyttävät referenssilähetyksen saapumisaikaa referenssinä omiin kellon aikoihinsa. RBS-aikatahdistus poikkeaa perinteisistä aikatahdistusmenetelmistä, koska vastaanottimet eivät tahdista itseään lähettimen kanssa, vaan ne tahdistavat itsensä toisten vastaanottimien kanssa. Tästä syystä RBS-aikatahdistusta kutsutaan myös vastaanotin-vastaanotin -aikatahdistukseksi. [4]

RBS-aikatahdistuksen perusidea on lähettää ajoittain jokin paketti vastaanottimille, jonka vastaanottajat aikaleimaavat heti sen havaittuaan. Tämän jälkeen vastaanottimet vaihtavat aikaleimojansa toisten vastaanottimien kanssa ja saavat näin tietoonsa muiden vastaanottimien kellonajat. Tätä prosessia toistamalla solmut voivat määrittää keskinäiset vaihesiirtonsa ja kellojensa vääristymät. Solmujen ei tarvitse säätää omaa

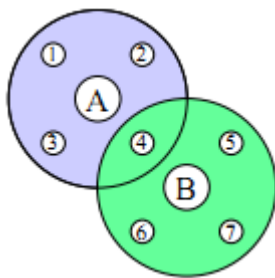
kellonaikaansa, mutta niiden täytyy luoda taulukko, johon jokaisen vastaanottimen tarvittavat parametrit tallennetaan, jotta kellonaika voidaan konvertoida. [4]

RBS-aikatahdistuksessa on pystytty saavuttamaan jopa  $1,85 \pm 1,28 \mu\text{s}$ :n tarkkuus, kun WLAN-verkon tiedonsiirtonopeutena on ollut 11 Mb/s ja aikaleimaus on tapahtunut kernel-tasolla [4].

#### 4.1.2 Multi-hop RBS

Multi-hop RBS on algoritmi, jolla voidaan liittää yhteen kelloja eri lähetysalueilta ilman, että RBS-aikatahdistuksen kriittinen vastaanotin-vastaanotin-ominaisuus menetetään. Tässä menetelmässä ajan tarkkuus heikkenee hitaasti, aina seuraavaan lähetysalueeseen hypättäessä. Multi-hop-algoritmi mahdollistaa erikokoisten sensoriryhmien yhteensovittamisen, sillä aiheutuva virhe on enintään yhtä suuri kuin solmujen välinen etäisyys aikatahdistuksessa. [4]

Multi-hop RBS -aikatahdistukselle on tarvetta esimerkiksi kuvan 1 kaltaisessa tilanteessa. Tässä sensorisolmut A ja B lähettävät kumpikin tahdistuspulssin, jota kummatkaan eivät toisiltaan kuule. Kuitenkin kumpaakin solmua kuulee neljä vastaanottoalueella olevaa vastaanotinta. Tässä tapauksessa vastaanotin neljä kykenee kuulemaan kummankin solmun lähettämän tahdistuspulssin sijaintinsa ansiosta. Tästä syystä vastaanotin neljä pystyy yhdistämään kummankin vastaanottoalueen kellot toisiinsa. [4]

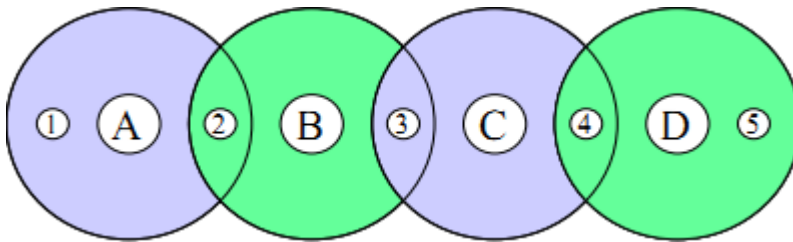


KUVA 1. Esimerkkutilanne, jossa on tarvetta multi-hop -aikatahdistukselle. [4]

Koejärjestelyiltään kuvan 2 mukaisissa testeissä on multi-hop RBS -aikatahdistuksessa saavutettu neljän hypyn jälkeen  $3,68 \pm 2,57 \mu\text{s}$  tarkkuus. Taulukossa 1 on kuvan 2 mukaisen koejärjestelyn tulokset jokaisen neljän hypyn kohdalta mitattuina. Tästä huomataan, että aikatahdistuksen tarkkuus pysyy erittäin hyvänä useammankin hypyn jälkeen. [4]

TAULUKKO 1. Neljältä hypyltä mitatut tarkkuudet ja keskimääräiset hajonnat. [4]

Hyppy	Virhe ( $\mu\text{s}$ )	Keskimääräinen hajonta ( $\mu\text{s}$ )
1	1,85	1,28
2	2,73	1,91
3	2,73	2,42
4	3,68	2,57



KUVA 2. Neljä hyppyä sensorisolmujen välillä. [4]

#### 4.1.3 Aikatahdistuksen virheet

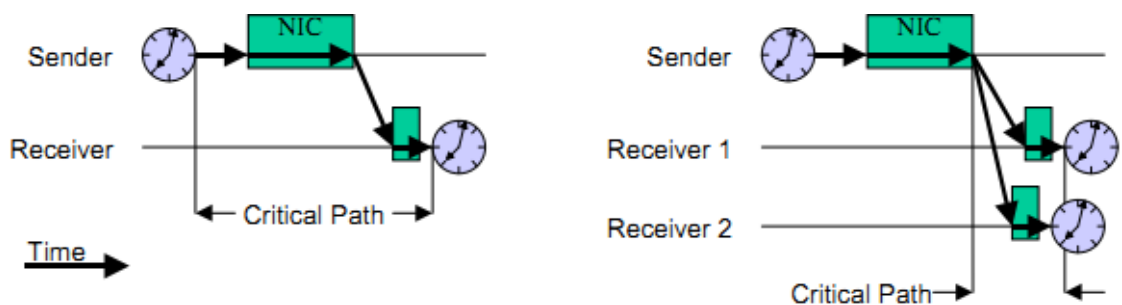
Ei-deterministisyys on suurin häiritsevä tekijä tarkalle aikatahdistukselle langattomissa verkoissa. Viiveiden arviointi voi sekoittua satunnaisista tapahtumista, jotka johtavat asymmetrisiin kiertomatkoihin viestin toimituksessa. Tämä myötävaikuttaa suoraan aikatahdistusvirheeseen. Jotta näiden virheiden lähteitä voisi paremmin ymmärtää, on hyödykästä jakaa osiin viestin viiveen lähde. Aikatahdistukseen liittyen on olemassa neljä toisistaan eroteltavaa komponenttia, jotka aiheuttavat viiveitä: lähetysaika, käsikäsipääsaika, etenemisaika ja vastaanottoaika. [4]

- Lähetysajalla tarkoitetaan aikaa joka kuluu lähettäjältä viestin muodostamiseen. Tähän lukeutuu ytimen protokollaprosessointi ja käyttöjärjestelmästä aiheutuvat muuttuvat viiveet. Myös viestin siirtoon isännältä verkkorajapintaan kuluva aika lukeutuu lähetysaikaviiveeseen. [4]
- Käsikäsipääsajalla tarkoitetaan viivettä joka kuluu odottaessa, että viestin välityskanavaan päästään käsiksi. Tämä on ominaista käytössä olevalle MAC-protokollalle. Kannanottopohjaisessa MAC-protokollassa joudutaan odottamaan kanavan vapautumista ennen lähetystä. Mikäli tapahtuu yhteentörmäys joudutaan lähetys suorittamaan uudestaan. [4]



- Etenemisajalla tarkoitetaan aikaa, joka kuluu viestin siirtyessä lähettäjältä vastaanottajille, kun viesti on lähtenyt lähettäjältä. Kun lähettäjä ja vastaanottaja käyttävät samaa fyysistä mediaa, on etenemisaika tällöin hyvin lyhyt, koska tällöin kyseessä on ainoastaan etenemisaika fyysisen median läpi. Laajalle hajautetuissa verkoissa etenemisaika on suurin yksittäinen tekijä, joka vaikuttaa viiveeseen, koska laajoissa verkoissa jonoutuminen ja kytkentäviiveet jokaisella reitittimellä vaikuttavat viestin siirtymiseen verkon läpi. [4]
- Vastaanottoajalla tarkoitetaan vastaanottajalle saapuneen viestin käsittelyyn kuluvaa aikaa. Tässä aika kuluu prosessointiin, jossa vastaanottajan verkkorajapinta vastaanottaa viestin lähetyskanavasta ja ilmoittaa isännälle viestin saapumisesta. Tämä aika menee tyypillisesti siihen, että verkkorajapinta tuottaa viestin vastaanottosignaalin. Mikäli saapumisaika on leimattu riittävän alhaisella tasolla isännän käyttöjärjestelmän ytimessä, ei vastaanottoaikaan lukeudu mukaan järjestelmän kutsujen tai edes viestin siirtyminen verkkorajapinnasta isännälle. [4]

RBS-aikatahdistuksen periaatteena on, että lähetysviestiä käytetään ainoastaan vastaanottajien keskinäiseen aikatahdistukseen. Tämä ominaisuus poistaa lähetysajan ja käsiksipääsyajan aikatahdistuksen kriittiseltä polulta (kuva 3). Juuri tämä ominaisuus tuottaa merkittävää hyötyä aikatahdistuksessa lähiverkoissa, joissa lähetysaika ja käsiksipääsy aika ovat perinteisesti viiveiden suurimmat ei-deterministisyyden aiheuttajat. [4]



KUVA 3. Oikealla olevassa RBS-aikatahdistusmenetelmässä kriittinen polku on huomattavasti lyhempi kuin perinteisissä aikatahdistusmenetelmissä. [4]

Näiden vaikutusten vastustamiseksi RBS-lähetystä on aina käytettävä verrannollisena aikareferenssinä sen sijaan, että sitä käytettäisiin viestittämään absoluuttista kelloaikaa. Juuri tämän ominaisuuden ansiosta lähetysajan ja käsiksipääsyajan aiheut-

tamista virheistä päästään eroon. Referenssiviesti itsessään ei sisällä lähettäjän tuottamaa aikaleimaa, eikä referenssiviestin lähetysajalla ole edes merkitystä. Referenssiviestin ei tarvitse olla erityinen aikatahdistuspaketti, vaan se voi olla mikä tahansa lähetettävä viesti. [4]

## 4.2 Network Time Protocol

Internetissä kaikkialla saatavissa olevista aikatahdistusprotokollista NTP on ollut olemassa kaikista pisimpään jatkuvasti toiminnassa. NTP-protokollan algoritmeja ja arkkitehtuuria on kehitetty pitkään ja protokollan nykyinen käytössä oleva versionumero on neljä. [5]

NTP-järjestelmään kuuluu primääri- ja sekundaaripalvelimet sekä asiakassovellukset. Järjestelmän tarkimpia aikälähteitä ovat primaaripalvelimet, joita pitävät yllä monissa maissa toimivat eri järjestöt, kuten muun muassa Amerikan Yhdysvalloissa oleva NIST (National Institute of Standards and Technology). Sekundaaripalvelimet saavat aikansa primaaripalvelimilta ja niiden ylläpitäjinä toimivat monenlaiset tahot, kuten yritykset ja organisaatiot. Asiakassovellukset lähettävät NTP-viestin yhdelle tai useammalle palvelimelle ja prosessoivat palvelimilta saadut vastaukset, joiden avulla asiakassovellus voi säätää kellonaikaansa. [5]

NTP-protokollassa palvelimissa toimiva NTP-prosessi vaihtaa aikaleimoja yhden tai useamman muun palvelimen kanssa. Tällä tavalla voidaan määrittää kellojen väliset poikkeamat. Poikkeamisen määrittämiseen riittävät UDP- ja IP -protokollat. Saadut poikkeamat käsitellään erilaisilla algoritmeilla ja niistä muodostetaan yhteinen poikkeama, jota käyttämällä voidaan paikallisen kellon aika korjata oikeaksi. [5]

NTP-protokolla on suunniteltu tuottamaan kolmea eri parametria, joita ovat: dispersio, kiertoaikaviive ja kellon poikkeama. Dispersio kuvaa paikallisen kellon suurinta virhetä suhteessa referenssikelloon. Kiertoaikaviiveellä voidaan mahdollistaa viestin laukaisu tietyssä ajanhetkenä, jolloin viesti saapuu palvelimen kelloon haluttuna ajanhetkenä. Kellon poikkeaman ansiosta tiedetään kuinka paljon paikallisen kellon aikaa on säädettävä, jotta se saadaan samaan aikaan kuin palvelimen kello. [5]

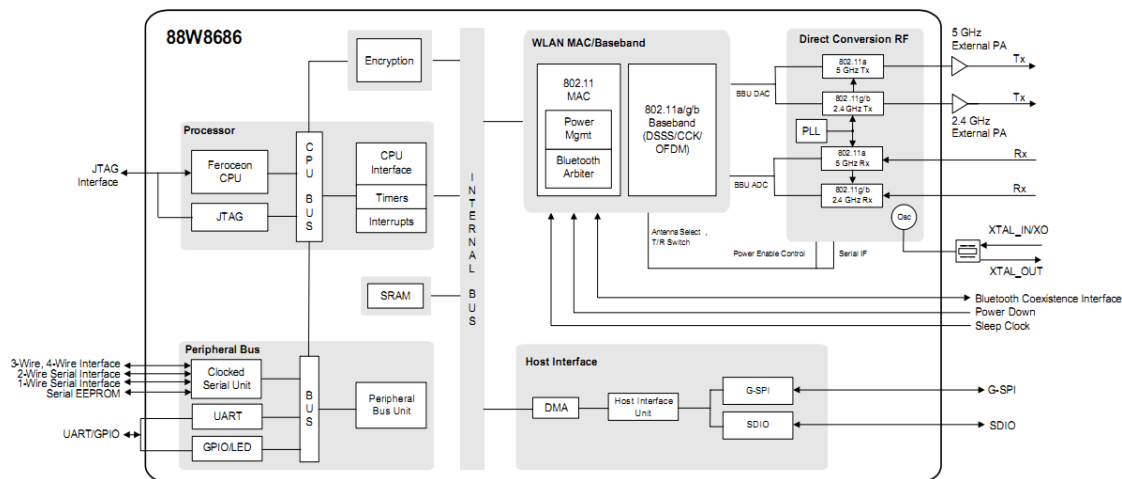
### 4.3 Simple Network Time Protocol

Simple Network Time Protocol (SNTP) on NTP-protokollasta kehitetty yksinkertaistettu aikatahdistusmenetelmä. NTP-protokollaan nähden SNTP-protokollasta puuttuu joitakin algoritmeja, jotka eivät ole tarpeellisia kaikissa järjestelmissä. SNTP-protokolla on kehitetty, koska joissakin järjestelmissä täysi NTP-protokolla voi olla liian monimutkainen ja raskas. SNTP-protokollan nykyinen versionumero on NTP-protokollan tavoin neljä. [6]

## 5 TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT LAITTEET JA OHJELMAT

### 5.1 Marvell 88W8686

Marvellin valmistama 88W8686 SoC on edullinen ja vähän energiaa kuluttava, monipuolisilla toiminnoilla varustettu integroitu WLAN-piiri. 88W8686-piiri tukee IEEE 802.11a/b/g -standardien mukaisia nopeuksia. Piirin tukemat tiedonsiirtonopeudet IEEE 802.11a/g -standardien mukaan ovat 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 ja 54 Mb/s ja IEEE 802.11b -standardin mukaan 1, 2, 5.5 ja 11 Mb/s. 88W8686-piirin tukema IEEE 802.11i -tietoturvastandardi lisää tietoturvasuutta käytettävissä sovelluksissa. Turvamenetelminä käytettävissä ovat AES, WEP, CCMP ja TKIP. [7]



KUVA 4. Marvell 88W8686 -piirin lohkokkaavio. [7]

88W8686-piirin ytimen toiminnalliset yksiköt on kytketty suuren siirtokapasiteetin yhteysjärjestelmiin (kuva 4). 88W8686-piiri on varustettu täysin integroidulla RF-taajuuksilta kantataajuuksiin ulottuvalla lähetin-vastaanottimella, joka toimii 2,4 GHz:n ISM-taajuusalueella IEEE 802.11g/b -standardien mukaisissa WLAN-sovelluksissa ja 5 GHz:n UNII-taajuusalueella IEEE 802.11a -standardin mukaisissa WLAN-sovelluksissa. 88W8686-piiri sisältää myös tarvittavat komponentit lähetys- ja vastaanottotoimintoja varten. [7]

Lähetin-vastaanottimen arkkitehtuuri sisältää Marvellin toisen sukupolven radion, joka on suunniteltu erityisesti toimimaan matkapuhelimien kanssa. Matkapuhelinten vastaanotokaistalla tapahtuvan erittäin alhaisen spektrisaiteilyn takia laite ei häiritse matkapuhelinten vastaanottoa ja on myös immuuni matkapuhelinten suuritehoisille lähetyssignaaleille. [7]

Pelkkä 88W8686-piiri itsestään ei ole Lange-hankkeessa käytössä, vaan se on osana hankkeeseen hankituissa WLAN-moduuleissa. 88W8686-piirin sisältävät moduulit ovat Connect Onen, Lairdin ja Wi2Wi:n valmistamia, ja niissä piiri toimii WLAN-yhteyden hoitavana apuprosessorina.

## 5.2 Connect One

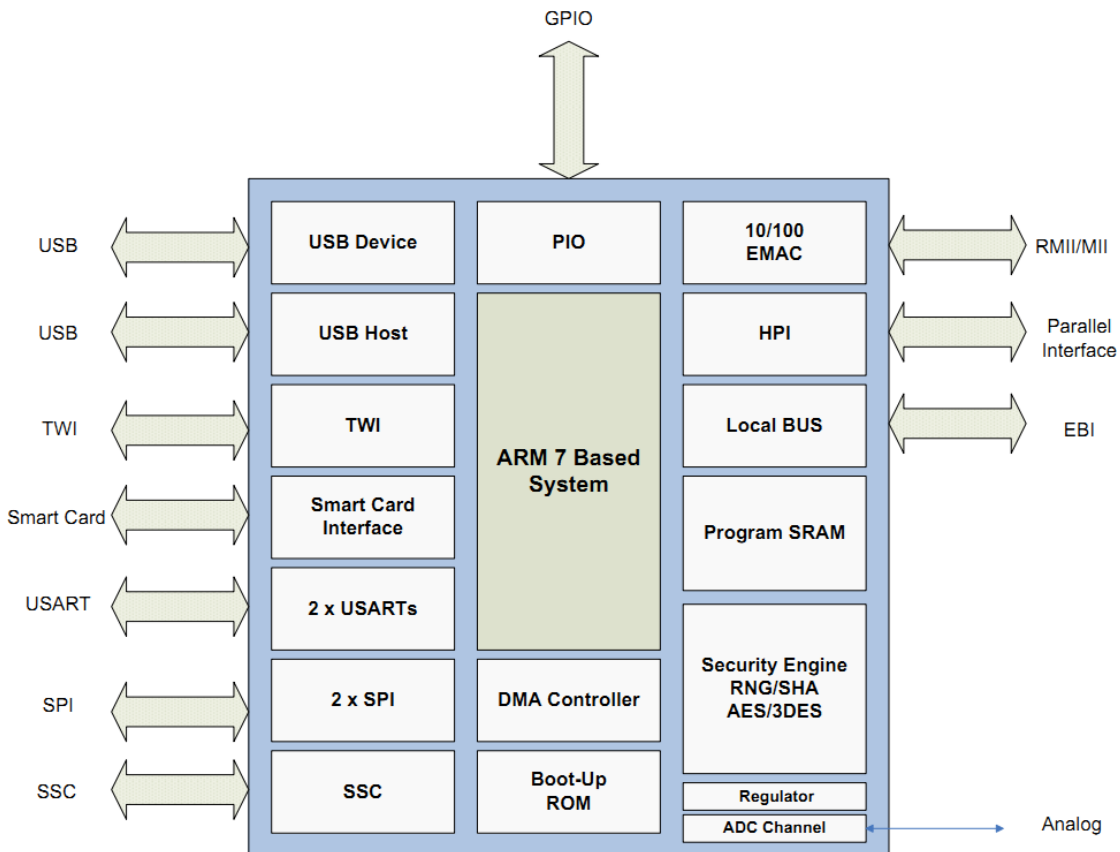
### 5.2.1 Connect One iChip

Connect Onen iChipit CO2064, CO2128 ja CO2144 ovat ohjelmoitavia IP-kommunikointikontrollereita, jotka on tarkoitettu toimimaan jonkin mikrokontrollerin tai muun prosessorin apuprosessoreina hoitamaan tietoturva- ja yhteystehtävät. Nämä piirit soveltuvat erityisesti turvallisen ja nopean 802.11b/g-standardien mukaisen WLAN-yhteyden lisäämiseen laitteisiin. [8]

CO2128- ja CO2144-piirien firmwaret tukevat jopa kymmentä aktiivista TCP/UDP-socketia ja kahta kuuntelusocketia. Piirit tukevat myös HTTP-, SMTP-, MIME-, FTP-, POP3- ja TELNET-asiakasohjelmia. Molemmissa piireissä on mahdollisuus myös web-palvelimeen, jossa voi olla kaksi nettisivua. Toinen nettisivuista on CO2128/CO2144-piirien konfigurointia varten ja toinen on sovellusta sekä sarjaliikenne-IP-siltausta varten. [8]

CO2128/CO2144-piirit lataavat firmwarensa ulkoisesta EBI-flash-muistista. Firmwaren päivittäminen on mahdollista etäyhteydellä FTP:tä tai HTTP:ta käyttäen. CO2128- ja CO2144-piirien ainoa ero on erilainen kotelo. Molemmat piirit kotelointeen ovat kuitenkin RoHS-yhteensopivia. CO2128-piiri on pakattu 128-pinniseen LQFP-koteloon ja CO2144-piiri puolestaan 144-pinniseen LFBGA-koteloon. [8]

Kaikki kolme iChip-piiriä sisältävät 32-bittisen ARM7TDMI RISC-prosessorin ja 256 kB sulautettua nopeaa SRAM-muistia. Kaikkien mallien perusoheislaiteliitännöihin lukeutuvat USB 2.0, USART, SPI ja 10/100BaseT Ethernet MAC-rajapinta. Toiminnallisessa lohkokaaviossa (kuva 5) on kuvattu kaikki ulkoiset liitännät, joita CO2128- ja CO2144-piireissä on mahdollista käyttää. [8]

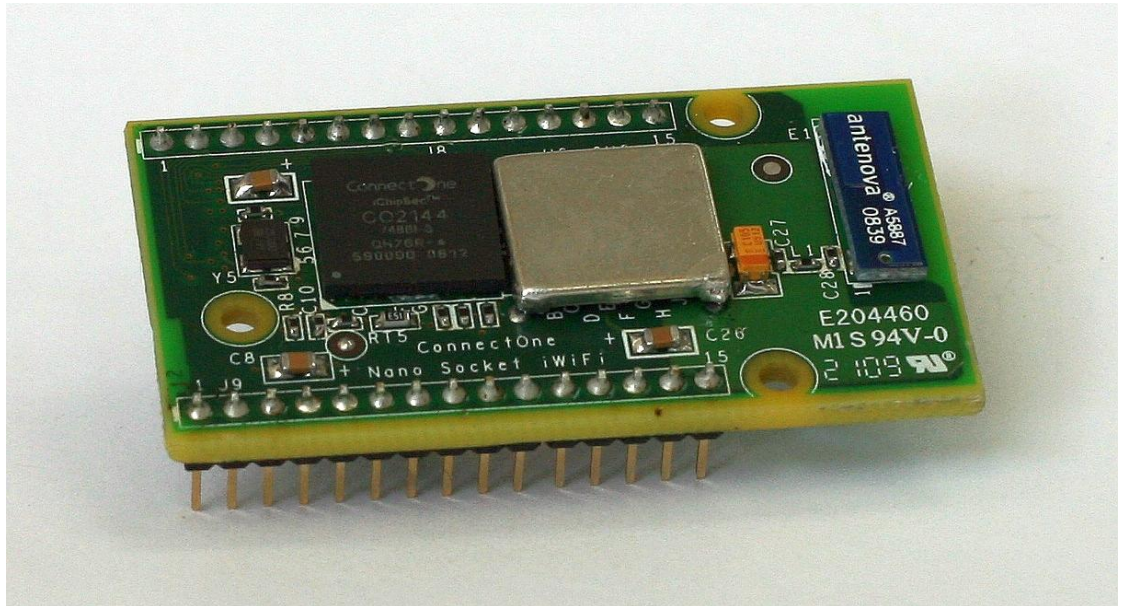


KUVA 5. CO2128/CO2144-piirien toiminnallinen lohkokaavio. [8]

Opinnäytetyössä käytössä olevissa Connect Onen valmistamissa moduuleissa iChip on CO2144-tyyppinen. Näiden moduulien komentamiseen käytetään Connect Onen kehittämiä AT+i-komentoja, jotka ovat tavallisen AT-käskykannan laajennus.

### 5.2.2 Nano Socket iWiFi -moduuli

Nano Socket iWiFi -moduuli on tietoturvallinen sulautettu WLAN-silta, jonka avulla voidaan liittää sulautettuja laitteita IEEE 802.11b/g -standardien mukaisiin verkkoihin. Nano Socket iWiFi -moduuli sisältää Connect Onen 48 MHz:n taajuudella toimivan CO2144 IP-kommunikointikontrolleripiirin, Marvellin 88W8686 WLAN-piirisarjan ja integroidun antennin. Moduuli on RoHS-yhteensopiva ja rakenteeltaan erittäin ohut (kuva 6). Moduulin liittäminen toisiin laitteisiin on helppoa, koska moduulissa käytetään kahta teollisuusstandardin mukaista 15-pinnistä piikkirimaa, joiden jalkoväli on kaksi millimetriä. [9]



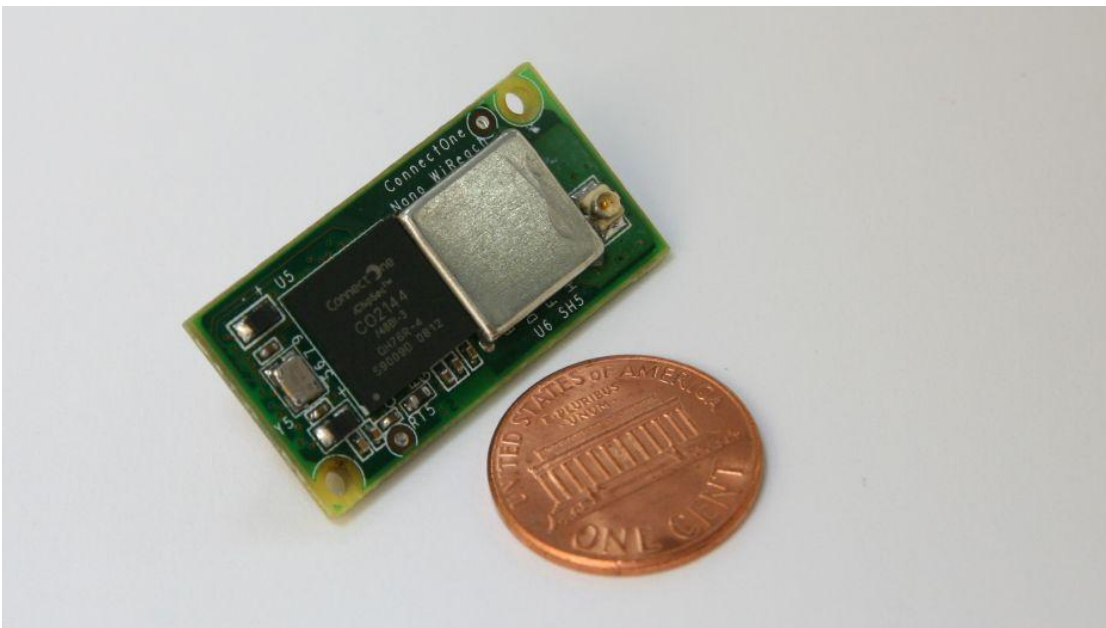
KUVA 6. Nano Socket iWiFi -moduuli. [10]

Nano Socket iWiFi -moduulin ärkeimmät toimintatilat ovat:

- LAN to WiFi Bridge: Mahdollistaa lähiverkkoyhteyden välittämisen langattomasti toimien läpinäkyvänä siltana. Käyttää RMII-yhteyttä olemassa olevaan MAC-tason laitteistoon tai vaihtoehtoisesti suoraan fyysisellä tasolla toimivaa yhteyttä. Tässä tilassa on mahdollista saavuttaa 12 Mb/s -tiedonsiirtonopeus.
- SerialNet Serial to WiFi Bridge: Mahdollistaa sarjaliikenteen välittämisen langattomaan lähiverkkoon toimien läpinäkyvänä siltana. Tämän tilan suurin tiedonsiirtonopeus on 3 Mb/s.
- PPP modem emulation: Mahdollistaa olemassa olevien PPP-protokollaa käyttävien laitteiden yhdistämisen läpinäkyvästi langattomaan lähiverkkoon.
- Full Internet Controller mode: Antaa yksinkertaiselle mikrokontrollerille mahdollisuuden käyttää Nano Socket iWiFi -moduulin lukuisia protokollia ja sovel-luskykyjä monimutkaisten Internet-operaatioiden suorittamiseen. Tässä tilassa moduuli toimii myös palomuurina sovelluksen ja verkon välillä.

### 5.2.3 Nano WiReach -moduuli

Nano WiReach -moduuli on tietoturvallinen sulautettu WLAN-silta, jonka avulla voidaan liittää sulautettuja laitteita 802.11b/g-standardien mukaisiin verkkoihin. Nano WiReach -moduuli sisältää Connect Onen 48 MHz:n taajuudella toimivan CO2144 IP-kommunikointikontrolleripiirin ja Marvellin 88W8686 WLAN-piirisarjan. Erona Nano Socket iWiFi -moduuliin on, ettei Nano WiReach -moduulissa ole integroitua antennia. Moduuli on RoHS-yhteensopiva, ja se on hyvin pienikokoinen (kuva 7). Nano WiReach -moduulin etu on sen pienempi koko Nano Socket iWiFi -moduuliin nähden. [11]



KUVA 7. Nano WiReach -moduuli. [10]

Nano WiReach -moduulin tärkeimmät toimintatilat ovat:

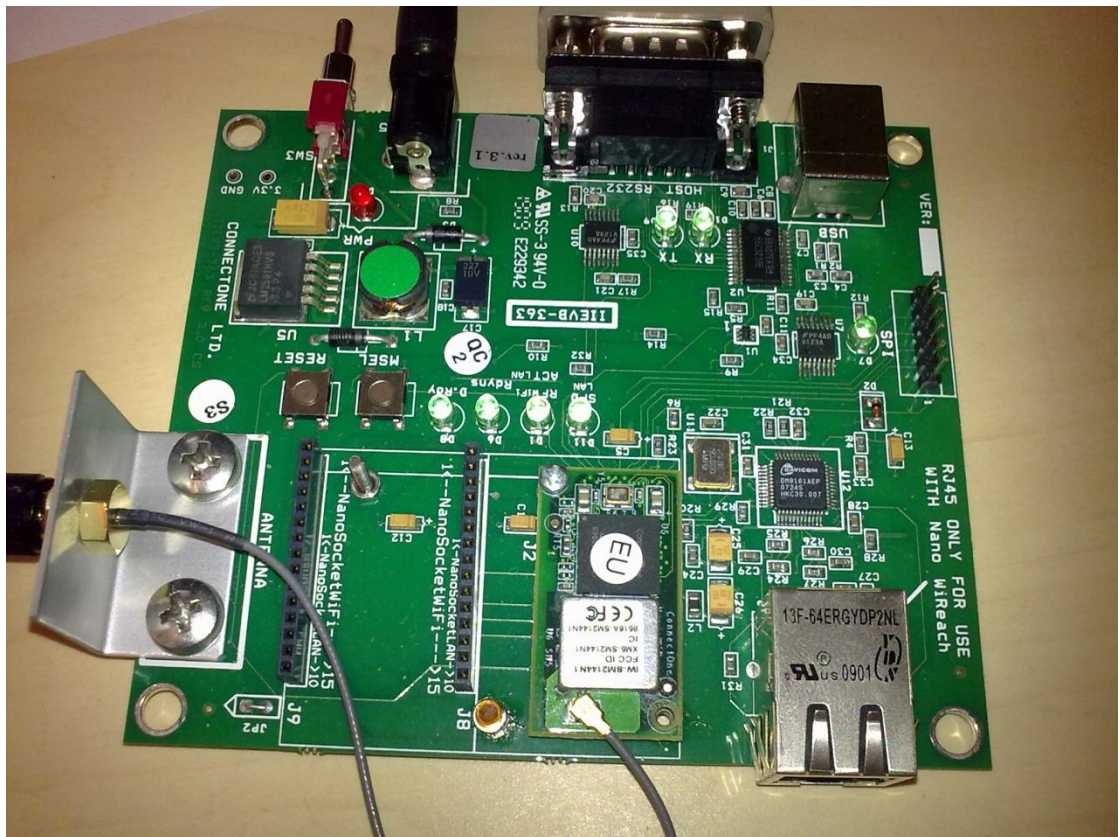
- LAN to WiFi Bridge: Mahdollistaa lähiverkkoyhteyden välittämisen langattomasti toimien läpinäkyvänä siltana. Käyttää RMII-yhteyttä olemassa olevaan MAC-tason laitteistoon tai vaihtoehtoisesti suoraan fyysisellä tasolla toimivaa yhteyttä. Tässä tilassa on mahdollista saavuttaa 12 Mb/s -tiedonsiirtonopeus.
- SerialNet Serial to WiFi Bridge: Mahdollistaa sarjaliikenteen välittämisen langattomaan lähiverkkoon toimien läpinäkyvänä siltana. Tämän tilan suurin tiedonsiirtonopeus on 3 Mb/s.



- PPP modem emulation: Mahdollistaa olemassa olevien PPP-protokollaa käyttävien laitteiden yhdistämisen läpinäkyvästi langattomaan lähiverkkoon.
- Full Internet Controller mode: Antaa yksinkertaiselle mikrokontrollerille mahdollisuuden käyttää Nano WiReachin lukuisia protokollia ja sovelluskykyjä monimutkaisten Internet-operaatioiden suorittamiseen. Tässä tilassa moduuli toimii myös palomuurina sovelluksen ja verkon välillä.

#### 5.2.4 II-EVB-363

Connect Onen valmistama II-EVB-363 on muun muassa Nano Socket iWiFi ja Nano WiReach -moduuleiden testikäyttämistä varten oleva evaluointialusta (kuva 8). II-EVB-363 -evaluointialustassa on tiedonsiirtoa varten RS-232 DB-9-naarasliitin, RJ-45-liitin Ethernetille, B-typin USB-liitin ja piikkirima SPI-väylälle. Evaluointialustaan kuuluu myös ulkoinen antenni, jota voidaan käyttää Nano WiReach -moduulin kanssa.



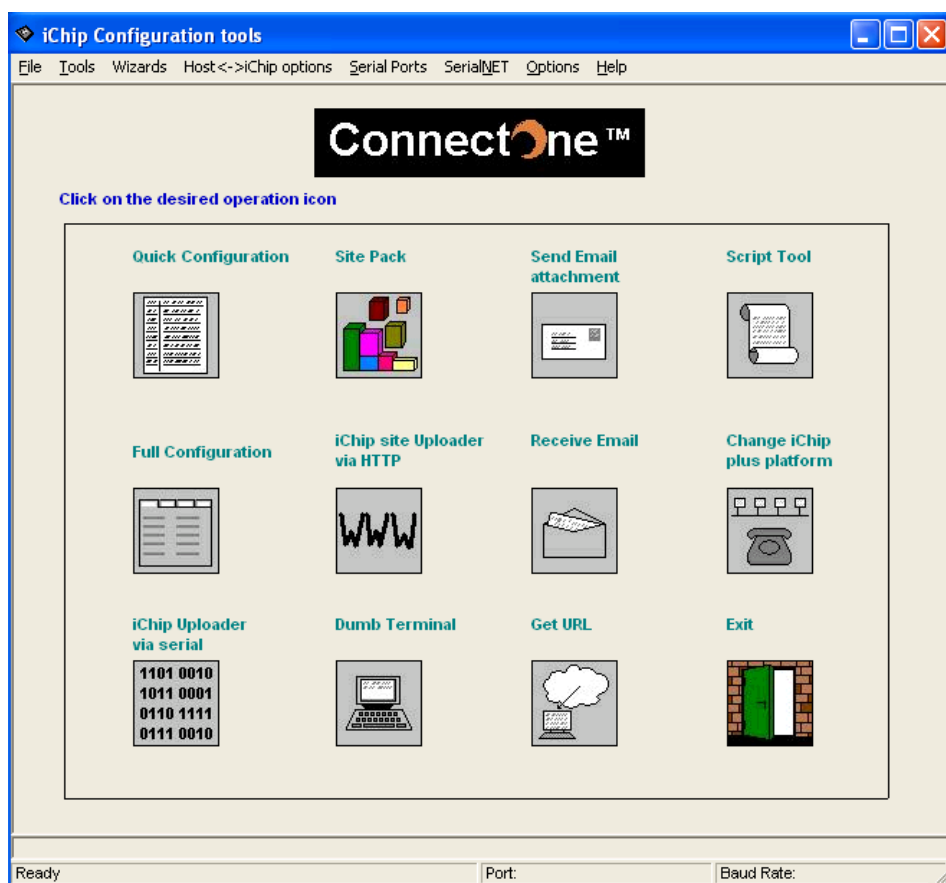
KUVA 8. Connect One II-EVB-363 -evaluointialusta, jossa on Nano WiReach -moduuli paikallaan.

II-EVB-363-evaluointialustalla on mahdollista testata iChipin sisältävien moduulien erilaisia toimintatiloja. Evaluointialustaan liitettyä moduulia voidaan ohjata USB- tai sarjaliitännän kautta iChip Config -ohjelmistolla tai pelkällä pääteohjelmalla käyttäen AT+i-komentoja.

### 5.2.5 iChip Config

iChip Config -ohjelma vaatii toimiakseen Windows XP -käyttöjärjestelmän, joka on asennettu joko fyysiselle tietokoneelle tai vaihtoehtoisesti virtuaalitietokoneelle. iChip Config -ohjelmalla on mahdollista suorittaa iChipien tärkeimpien parametrien pikakonfigurointi tai tarvittaessa täydellinen konfigurointi. Ohjelmalla on mahdollista myös suorittaa firmwaren päivitys sarjaliitintä käyttäen tai web-pohjaisesti.

iChip Config -ohjelman Full Configuration- tai Quick Configuration -työkaluilla on mahdollista konfiguroida iChip-piirejä ilman, että AT+i-komentoja tarvitsee käyttää (kuva 9). Ohjelman graafiseen käyttöliittymään tarvitsee ainoastaan syöttää halutut parametrit. [12]



KUVA 9. iChip Config -työkalun päävalikko.

iChip Config -ohjelman työkaluihin kuuluu myös Dumb Terminal -niminen pääteohjelma, jolla käyttäjä voi antaa AT+i-komentoja iChip-piirille. II-EVB-363 -evaluointialustaa on mahdollista ohjata AT+i-komentoja käyttäen myös muissa käyttöjärjestelmissä, kun käytetään sarjaliitainta ja sopivaa pääteohjelmaa.

iChip Config -ohjelmaan kuuluu useita työkaluja, joilla voidaan konfiguroida iChipien monia parametreja. Ainoastaan käytössä olevaan iChip-piiriin liittyvät parametrit ovat muokattavissa iChip Config -ohjelman työkaluissa. Muiden iChip-piirien parametrit ovat tällöin lukittuina. iChip Config -ohjelman tärkeimpiä työkaluja ovat:

- Quick Configuration: Pikakonfigurointityökalulla on mahdollista konfiguroida muutamia iChip-piirien tärkeimpiä parametreja.
- Full Configuration Tool: Työkalu jolla on mahdollista suorittaa iChipin kaikkien mahdollisten parametrien konfigurointi.
- Dumb Terminal: Pääteohjelma jolla voidaan antaa AT- tai AT+i-komentoja iChip-piirille. Ohjelmassa voidaan myös valita käytettävä sarjaliikenneportti sekä käytettävä baudinopeus.

### 5.3 Laird

#### 5.3.1 WLM400/402

WLM400- ja WLM402-moduuleilla ainoana erona on, että WLM400-moduuli on valmistettu Pohjois-Amerikan säännösten mukaiseksi ja näin ollen se käyttää 11 WLAN-kanavaa, kun taas WLM402-moduuli on valmistettu Euroopan säännösten mukaiseksi ja se käyttää 13 WLAN-kanavaa. Moduuli on erittäin suorituskykyinen, sillä se on varustettu 200 MHz:n kellotaajuudella toimivalla ARM9-prosessorilla, jossa on 64 megatavua SDRAM- ja Flash-muistia. WLAN-liikennettä WLM400/402 -moduuleissa on hoitamassa Marvellin 88W8686-prosessori.

WLM402-moduuli tukee kolmea erilaista tehonkulutustilaa. Oletuksena on päällä normaalitila eli Level 0.

- Level 0: Mikäli moduuli ei onnistu yhdistymään tukiasemaan tai liittymään ad hoc -verkkoon, asetetaan sen langattoman liikenteen hoitava prosessori syväunitilaan, kunnes yhdistyminen onnistuu.
- Level 1: Tämä tila toimii kuten Level 0, mutta lisäksi vastaavassa tilanteessa myös pääprosessori asetetaan syväunitilaan.
- Level 2: Tämä tila on käytössä ainoastaan silloin, kun moduuli on liittynyt tukiasemaan infrastruktuuritilassa. Kun liikenne isännän ja verkon välillä putoaa kynnyksen alapuolelle, siirtyy Wism+ IEEE-tehonsäästötilaan.



KUVA 10. Laird WLM402 IEEE 802.11b/g -standardien mukainen pintaliitettävä moduuli. [13]



### 5.3.2 DVK-WLM402

Lairdin DVK-WLM402-kehitysalusta sisältää WLM402-moduulin, joka on pintaliitetty alustaan. DVK-WLM402 -kehitysalustassa on kaksi antennia, joista voidaan käyttää joko vain toista kerrallaan tai yhtä aikaa molempia, jolloin ne toimivat antennidiversiteetissä. Antennidiversiteetillä on mahdollista parantaa langattoman signaalin laatua ja kuuluvuutta ja sillä on mahdollista saavuttaa jopa 1000 m:n kantama IEEE 802.11b-standardin mukaisessa langattomassa verkossa.

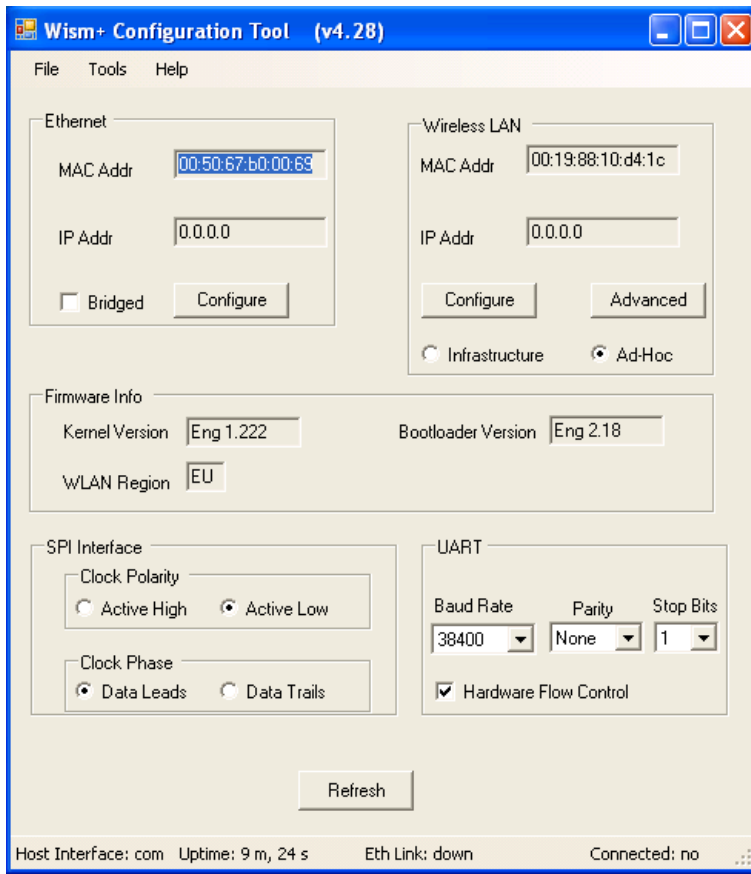


KUVA 11. DVK-WLM402-kehitysalusta, jossa on WLM402-moduuli.

DVK-WLM402-kehitysalustalla olevaa moduulia voidaan käyttää joko AT-komennoilla tai Wism+ Configuration Tool -ohjelmalla. Moduulille annetaan AT-komennot sarjaliikenneportin kautta pääteohjelmalla. Wism+ Configuration Tool -ohjelmaa käytettäessä voidaan käyttää SPI-, USB-, Ethernet- tai sarjaliitintä. Kehitysalustan mukana tuleva ohjelmisto ei sisällä omaa pääteohjelmaa, joten AT-komentojen antamiseen on käytettävä jonkin toisen osapuolen tekemää pääteohjelmaa.

### 5.3.3 Wism+ Configuration Tool

Wism+ Configuration Tool -ohjelmalla on mahdollista suorittaa peruskonfigurointia WLM400/402-moduuleille USB-, sarja-, Ethernet- tai SPI-liitäntöjen kautta. Wism+ Configuration Tool -ohjelmaa käytettäessä Windows-käyttöjärjestelmällä varustetussa tietokoneessa on käytössä oletuksena USB-liitäntä moduulin sisältävän kehitysalustan liittämiseen.



KUVA 12. Wism+ Config -työkalun päävalikko.

Tietokoneeseen liitetyn moduulin tiedot ja parametrit voidaan lukea uudestaan Refresh-painikkeella. WISM+ Configuration Tool -ohjelman etusivu on jaoteltu viiteen osa-alueeseen (kuva 12):

- Ethernet: Kenttä ilmoittaa liitetyn moduulin Ethernet-liitännän MAC- ja IP -osoitteen. Voidaan myös valita, käytetäänkö moduulia WLAN-siltana.
- Wireless LAN: Kenttä ilmoittaa liitetyn moduulin langattoman sovittimen MAC- ja IP-osoitteet. Lisäksi voidaan valita, käytetäänkö moduulia infrastruktuurissa vai ad hoc -verkossa.

- **Firmware Info:** Tämä kenttä kertoo, onko moduuli valmistettu Euroopan vai Pohjois-Amerikan markkinoille. Lisäksi kenttä ilmoittaa moduuliin asennetun firmwaren sekä bootloaderin versiot.
- **SPI Interface:** Tässä kentässä voidaan asettaa SPI-liitännän kellon aktiivinen tila ja kellon vaiheen tilan, jossa valitaan kellon nousevan ja laskevan reunan toiminnot.
- **UART:** Tässä kentässä voidaan valita käytettävä baudinopeus. Lisäksi voidaan valita, onko pariteettibitti käytössä ja stop-bittien lukumäärä. Myös rautapohjainen vuonohjaus voidaan asettaa käyttöön tai poistaa se käytöstä.

## 5.4 Wi2Wi

### 5.4.1 W2SW0001

Wi2Wi W2SW0001 on IEEE 802.11b/g -standardien mukainen langaton lähetin-vastaanotinpiiri, joka sisältää Marvellin 88W8686-piiriin. W2SW0001-piiri on SiP-ratkaisu, ja se on pakattu erittäin pieneen LGA-koteloon (kuva 13). Tämän ansiosta piiriä on mahdollista käyttää erittäin pienissä kannettavissa laitteissa, joissa tarvitaan WLAN-yhteyttä. Se on suunniteltu erityisesti kädessä pidettäviin kannettaviin laitteisiin esimerkiksi lääketieteellisissä ja logistisissa sovelluksissa. [14]



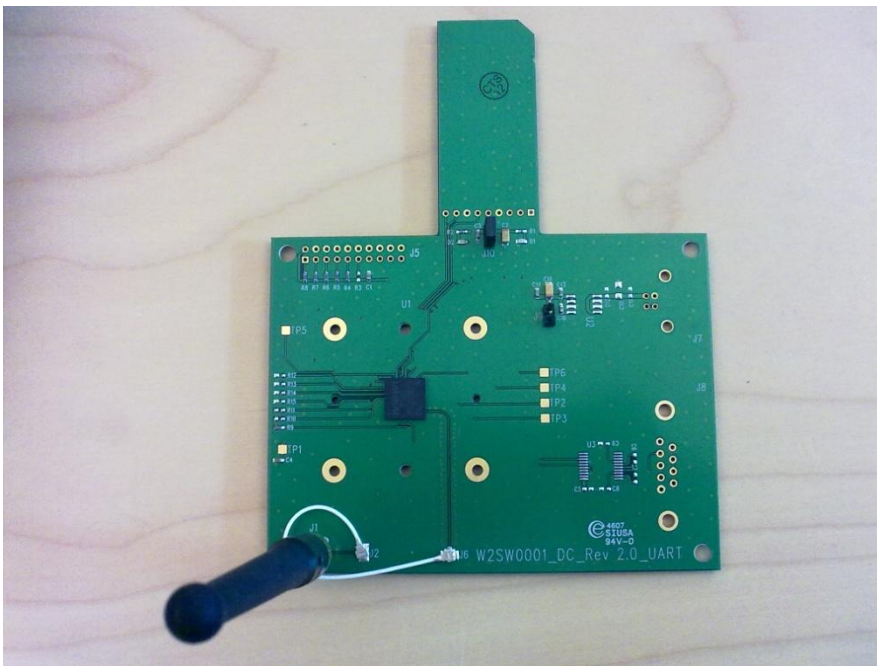
KUVA 13. Wi2Wi W2SW0001-piiri. [14]

W2SW0001-piirin liitännät ovat SDIO- ja GSPI-rajapinnat ja seitsemän GPIO-pinniä. Piiri kuluttaa erittäin vähän tehoa ja se tukee virransäästöä. Langattoman verkon tietoturvaa voidaan parantaa piirin tukemalla IEEE 802.11i -tietoturvastandardin mukaisella toiminnalla. Piirillä on myös IEEE 802.11e -laajennuksen mukainen tuki verkon palvelulaadun parannukselle. [14]

W2SW0001-piirille on saatavilla täysi ajurituki suurimmalle osalle Marvellin PXA-tuoteperheeseen kuuluville prosessoreille. Lisäksi ajuritukea on saatavilla myös monille muille ARM9-pohjaisille prosessoreille, joiden käyttöjärjestelmänä on Linux. [14]

#### 5.4.2 W2SW0001-DEV

Wi2Wi W2SW0001-DEV on kehityskortti W2SW0001-piirin testikäyttämistä varten. Kehityskortilla on SMA-liitin ulkoisen antennin kiinnitystä varten (kuva 14). Laitetta voidaan käyttää WLAN-sovittimena tietokoneessa liittämällä laite SD-liitäntään. Joihinkin tietokoneisiin voidaan joutua asentamaan kehityskortin mukana tuleva ajuri, jotta SD-väylälle saadaan tuki 4-bittiselle tilalle, jota kehityskortti vaatii toimiakseen. [14]



KUVA 14. Wi2Wi W2SW001-DEV -kehityskortti, johon antenni on kiinnitetty.

W2SW0001-DEV -kehityskortti on valmiina erittäin niukasti kalustettu (kuva 14), joten mikäli korttia haluttaisiin käyttää muuhunkin kuin pelkästään WLAN-sovittimeksi, olisi siihen kolvattava komponentteja ja liittimiä. Tällöin olisi mahdollista hyödyntää esimerkiksi sarjaliitainta.



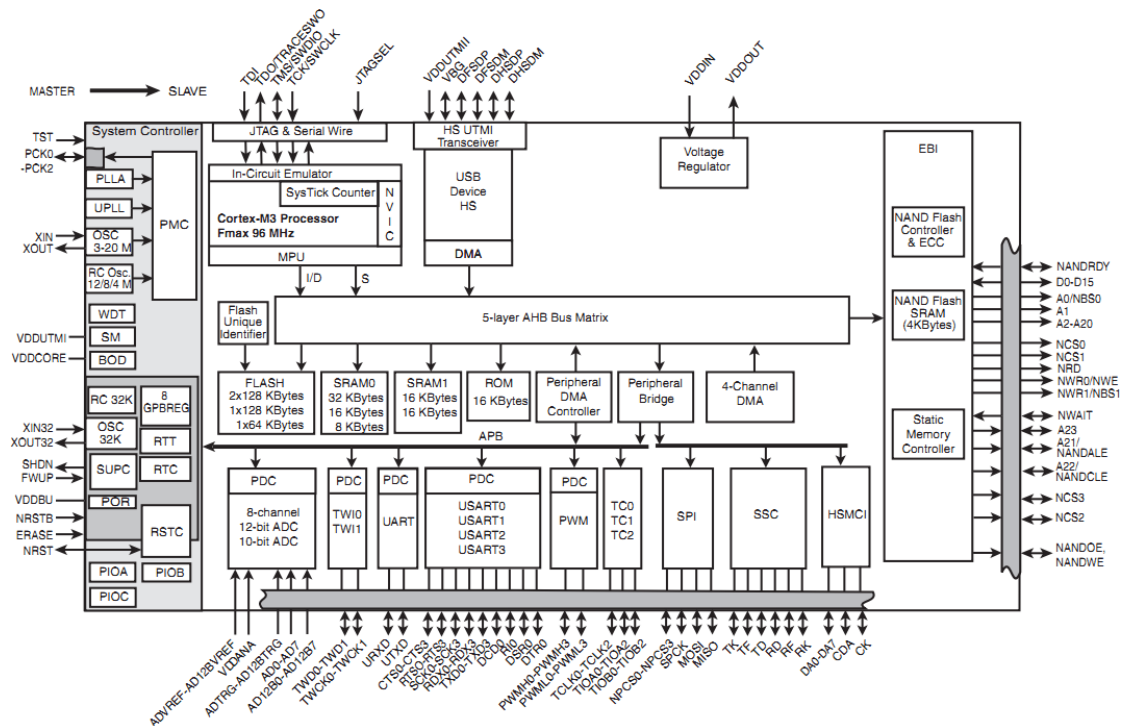
## 5.5 Atmel

### 5.5.1 SAM3U4E

SAM3U4E on Atmelin valmistama 32-bittinen ARM Cortex-M3 RISC-prosessoriin pohjautuva mikrokontrolleri. Mikrokontrollerin maksimi kellotaajuus on 96 MHz ja se sisältää 2x128 kB Flash-muistia ja 52 kB SRAM-muistia. [15]

Mikrokontrollerissa on useita ohjauspiirejä oheislaitteille, kuten neljä PWM-ajastinta, kolme yleiskäyttöistä 16-bittistä ajastinta, reaaliaikakello, 12-bittinen AD-muunnin ja 10-bittinen AD-muunnin. Liitäntöinä mikrokontrollerissa on muun muassa SPI, UART, USART ja USB (kuva 15). [15]

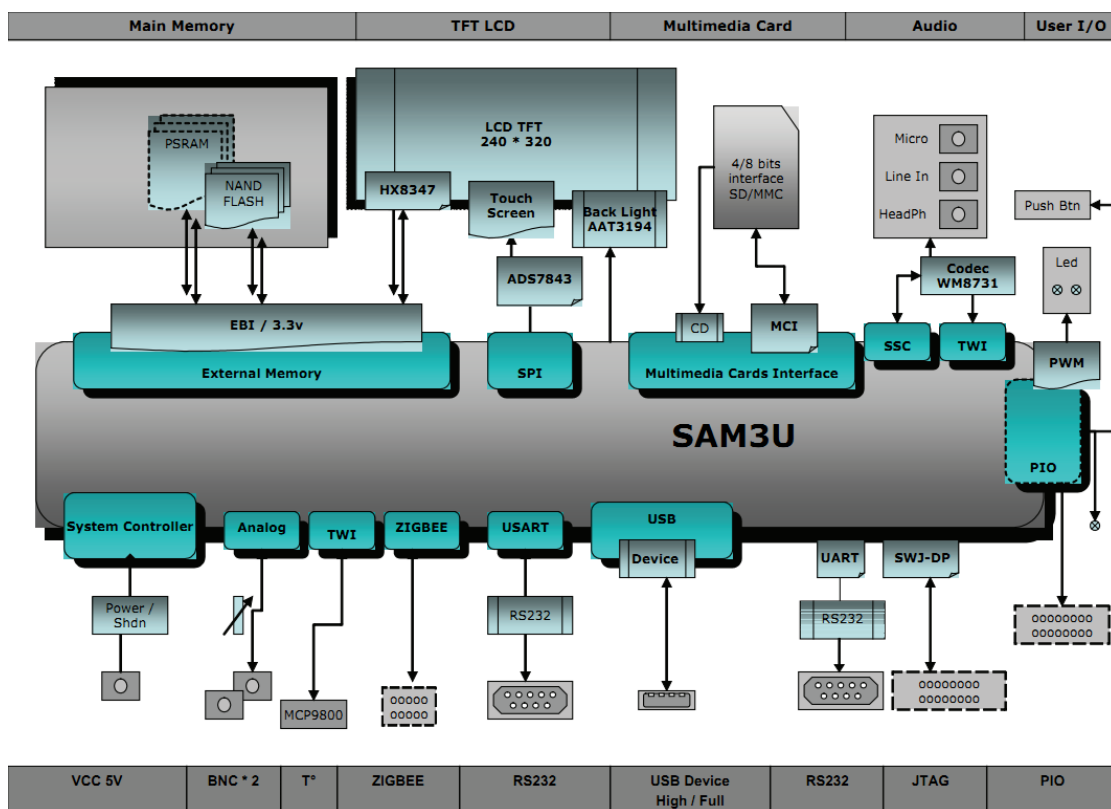
SAM3U-arkkitehtuuri on suunniteltu erityisesti ylläpitämään suurinopeuksista tiedon-siirtoa, kuten esimerkiksi USB-SPI-silta. SAM3U-sarjan mikrokontrollerit soveltuvat erityisesti esimerkiksi datankeräys- ja USB-sovelluksiin. [15]



KUVA 15. 144-pinniseen LQFP- tai LFBGA-koteloon pakatun SAM3U4E-mikrokontrollerin lohkokaavio. [15]

## 5.5.2 SAM3U-EK

SAM3U-EK on SAM3U-sarjan mikrokontrollereita varten valmistettu evaluointialusta. Evaluointialustassa oleva mikrokontrolleri on tyypiltään SAM3U4E, joka on pakattu 144-pinniseen LQFP-koteloon. Evaluointialusta sisältää erittäin monipuolisesti erilaisia oheislaitteita ja liitäntöjä (kuva 16). Omien sovellusten kehittämistä ja testaamista varten erittäin hyviä oheislaitteita ovat esimerkiksi 2,8” kosketusnäyttö ja 3D-kiihtyvyysanturi. Evaluointialustan tärkeimpiä liitäntöjä ovat UART, USART, USB, SPI, JTAG ja TWI. [16]



KUVA 16. SAM3U-EK-evaluointialustan lohkokaaio oheislaitteineen. [16]

## 6 TYÖN TOTEUTUS

Opinnäytetyön alkuvaiheessa työnä oli tutkia Marvelliin 88W8686-piiriä käyttäviä laitteita ja vertailla niiden välisiä ominaisuuksia. Tässä vaiheessa kokeiltiin laitteiden toimintoja ja ominaisuuksia sekä laitteiden mukana mahdollisesti tulevia ohjelmistoja.

### 6.1 Wi2Wi

Wi2Wi:n W2SW0001-DEV-kehityskortin käyttö jäi erittäin vähäiseksi, koska se toimii lähinnä WLAN-sovittimena tietokoneelle. Laite liitetään tietokoneen SD-väylään ja asennetaan tarvittaessa kehityskortin mukana tuleva ajuri. Asennuksen ollessa valmis voidaan tietokone yhdistää tukiasemaan käyttäen W2SW0001-DEV-kehitysalustaa WLAN-sovittimena.

Lange-hankkeessa Wi2Wi:n W2SW0001-DEV-kehityskortista ei ole juurikaan hyötyä, koska kyseisellä kortilla ei voi tehdä muuta kuin käyttää sitä WLAN-sovittimena. W2SW0001-piiri on ominaisuuksiltaan hyvin lähellä Connect Onen ja Lairdin valmistamia moduuleja, mutta mitään muuta testikäyttöä sille ei voinut tehdä WLAN-sovittimena käyttämisen lisäksi. Tämä rajoittuneisuus johtuu siitä, että Wi2Wi ei tarjoa kehitysalustalleen minkäänlaista ohjelmistoa testaamista varten ja itse kehitysalusta on ominaisuuksiltaan hyvin karsittu.

### 6.2 Laird

Lairdin ominaisuuksia tutkiessa kävi ilmi, että WLM402-moduuli on erittäin suorituskykyinen, mutta tehonkulutus on melko suuri ajatellen sen soveltamista akkukäyttöisessä laitteessa. Suuri tehonkulutus rajasi Lairdin moduulin tutkimista jo melko alkuvaiheessa.

Lairdin kehityskitin yhdistäminen tukiasemaan onnistui käyttäen AT-komentoja, jotka annettiin pääteohjelmalla sarjaliikenneportin kautta. Myös WLM402-moduulin reaaliaikakellon päivittäminen onnistui käyttämällä Wism+ Configuration Tool -ohjelmaa, mutta koska WLM402-DVK-kehityskitissä ei ollut asennettuna reaaliaikakellon patteria, hävisi kellonaika WLM402-moduulin muistista aina, kun moduuli sammutettiin.

Pääteohjelmaa käyttämällä Lairdin kehityskitillä pystyi myös kokeilemaan pingaamista. Tämä suoritettiin kirjoittamalla pääteohjelmaan `at+ping`-komento, jonka perään lisättiin pingattavan tietokoneen IP-osoite. Lange-hankkeeseen perustettiin oma lähiverkko, johon liitetyn tukiaseman kautta lähiverkossa ollutta konetta pystyi pingaamaan langattomasti.

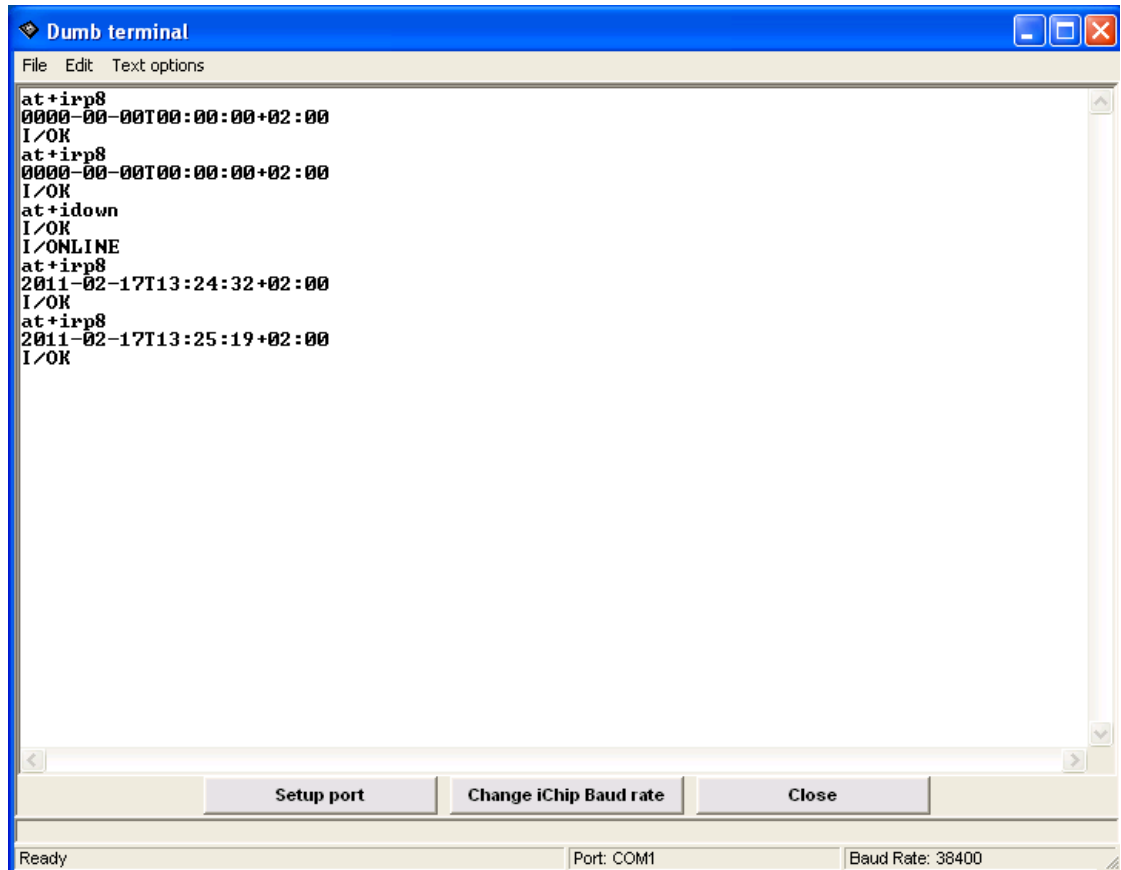
### 6.3 Connect One

Alkuvaiheessa kaikkien kolmen valmistajan tuotteiden tutkimisen jälkeen parhaalta tuotteelta vaikuttivat Connect Onen laitteet. Näiden moduulien ominaisuudet soveltuvat parhaiten Lange-hankkeen yhteistyökumppaniyritysten tarpeisiin. Tästä syystä Marvellin 88W8686-piiriin pohjautuvista laitteista Connect Onen laitteita tutkittiin ja käytettiin eniten

Connect Onen moduuleilla on tuki SNTP-protokollalle, joten moduulien reaaliaikakellon päivittäminen on mahdollista langattomasti. Tämän toteutus tapahtui käyttämällä Windows 7 -käyttöjärjestelmällä varustetussa tietokoneessa VMware Workstation -ohjelmaa, jolla voidaan käyttää virtuaalitietokonetta. Virtuaalitietokoneen käyttöjärjestelmänä toimi Ubuntu 10.04. Ubuntu-käyttöjärjestelmään oli asennettu MSNTP-niminen taustaprosessi, joka lähetti kahden minuutin välein aikaleiman tukiaseman kautta.

Nano WiReach -moduulille asetettiin iChip Config -ohjelmaa käyttäen IP-osoite, josta moduuli noutaa SNTP-aikaleiman. Koska iChip Config -ohjelmalla on mahdollista myös asettaa UTC-ajasta poikkeava maakohtainen paikallinen aika, asetettiin tähän koetta talviaikaan tehdessä +2 tuntia (kuva 17).

Dumb terminal -pääteohjelmalla annettiin `AT+irp8`-komento, jolla moduuli kertoo kellonajan ja päivämäärän. Connect Onen moduulien reaaliaikakello nollautuu aina, kun moduulilta katkaistaan virta, joten kuvan 17 alussa olevat kaksi ensimmäistä kellon aikaa ovat ennen kuin moduuli on vastaanottanut SNTP-aikaleiman sen jälkeen, kun moduuli on kytketty päälle. Tämän jälkeen reaaliaikakello alkaa käydä ja aina, kun vastaanotetaan uusi aikaleima, se korjaa uuden ajan reaaliaikakelloon.



```

Dumb terminal
File Edit Text options
at+irp8
0000-00-00T00:00:00+02:00
I/OK
at+irp8
0000-00-00T00:00:00+02:00
I/OK
at+idown
I/OK
I/ONLINE
at+irp8
2011-02-17T13:24:32+02:00
I/OK
at+irp8
2011-02-17T13:25:19+02:00
I/OK

Setup port Change iChip Baud rate Close
Ready Port: COM1 Baud Rate: 38400

```

KUVA 17. Nano WiReach -moduulin hakema päivämäärä ja kellonaika SNTP-palvelinohjelmalta.

Lan to WiFi bridge -toiminnolla onnistui myös tietokoneen yhdistäminen WLAN-tukiasemaan II-EVB-363-evaluointialustaa käyttämällä. Tässä toiminnossa asetettiin iChip Config -ohjelmalla USB-liitännän kautta Nano WiReach -moduuli Lan to WiFi bridge -tilaan. Tämän jälkeen varmistettiin Dumb terminal -pääteohjelmalla AT+iBRM?-komennolla kysymällä Nano WiReach -moduulilta sen käytössä oleva tila.

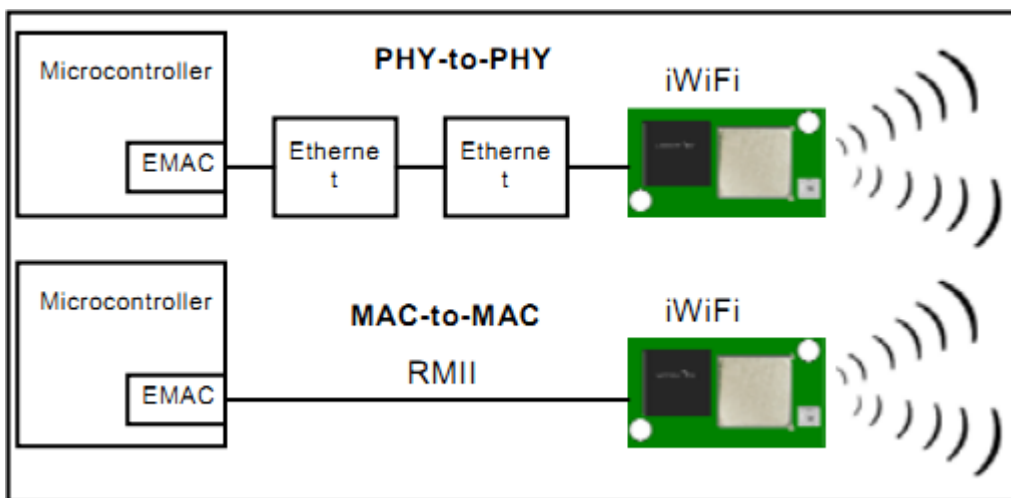
#### 6.4 Lisätutkimus

Koska kaikkien kolmen laitevalmistajan tuotteiden tutkimisen ja käyttämisen jälkeen paljastui, ettei niillä ole mahdollista toteuttaa Lange-hankkeen tavoitteena olevaa aikatahdistusta, alkoi vaikuttaa siltä, ettei niistä ole Lange-hankkeessa kovin suurta hyötyä. Tämän jälkeen alettiin tutkia Lange-hankkeeseen hankittuja Atmelin valmistamia SAM3U-EK-evaluointialustoja.

SAM3U-EK-evaluointialustoja käyttämällä tutkittiin kuinka Connect Onen Nano Socket iWiFi -moduulin saisi liitettyä Atmelin SAM3U4E-mikrokontrolleriin. Tässä ti-

lanteessa mikrokontrolleri hoitaisi langattoman sensoriverkon aikatahdistuksen ja Nano Socket iWiFi -moduuli hoitaisi WLAN-liikenteen.

Mikrokontrolleriin liittämiseksi Connect Onen moduuleilla paras vaihtoehto olisi Lan to WiFi bridge -toiminto, koska tällöin moduuli toimii ainoastaan läpinäkyvänä WLAN-siltana siihen liitetylle laitteelle. Lan to WiFi bridge -tilassa Connect Onen moduulilla ei ole lainkaan omaa IP-osoitetta, jolloin kaikki liikennöinti tapahtuu fyysisellä tasolla tai mikäli on MAC-tason laitteistoa, liikennöinti tapahtuu RMII-yhteydellä (kuva 18). Lan to WiFi Bridge -tilassa ei tulisi kovin suurta viivettä tiedonsiirrossa moduulin läpi ja kuitenkin aiheutuva viive olisi mahdollista huomioida mikrokontrollerilla, koska viive olisi joka kerta samanpituisen.



KUVA 18. Lan to WiFi bridge -tilan kaksi eri toimintamallia. [9]

Koska SAM3U4E-mikrokontrollerissa ei ole Ethernet-liitäntää, ei Lan to WiFi bridge -tilan hyödyntäminen ole mahdollista tässä yhteydessä. Niinpä tämän opinnäytetyön osalta Lan to WiFi bridge -tilan tutkimisen joutui sivuuttamaan.

Seuraavaksi tutkimuksen kohteeksi tuli SPI-väylä, jolla olisi mahdollista päästä samaan 12 Mb/s -tiedonsiirtonopeuteen Lan to WiFi bridge -tilan kanssa. Tässä vaiheessa SPI-väylä vaikutti lupaavalta ja sitä tutkittiin paljon. Tarkoituksena oli käyttää Nano Socket iWiFi -moduulia SPI-väylässä slave-laitteena ja SAM3U4E-mikrokontrolleria master-laitteena.

Kävi kuitenkin ilmi, että toimiakseen SPI-väylässä orjalaitteena on Connect Onen oltava ainoa oheislaitte, joka liitetään SPI-väylään. Eli toisin sanoen Connect Onen moduulin on oltava kiinteä oheislaitte (fixed peripheral). Tämä on merkittävä haitta

laitteen käyttämiselle, koska mikrokontrollerille on voitava liittää muitakin oheislaitteita SPI-väylän kautta. Joten SPI-väylää ei voida hyödyntää Nano Socket iWiFi -moduulin liittämiseksi SAM3U4E-mikrokontrolleriin.

Koska Lan to WiFi bridge -tilaa ja SPI-väylää ei voi hyödyntää moduulin liittämässä mikrokontrolleriin, jäi ainoaksi vaihtoehdoksi SerialNET-tila. SerialNET-tilan haitta on tiedonsiirron hitaus, koska SerialNET-tilan maksimi tiedonsiirtonopeus on 3 Mb/s. SerialNET-tilan käyttäminen moduulin liittämiseksi mikrokontrolleriin on kuitenkin mahdollista.

SAM3U4E-mikrokontrollerissa on yksi UART-portti ja neljä USART-porttia. Koska UART-portti oli kuitenkin jo käytössä Atmelin tarjoamissa demosovelluksissa, oli tilalla käytettävä USART-porttia. USART2 valittiin käytettäväksi portiksi käytössä olevien pinniensä takia, koska SAM3U-EK-evaluointialustalla on multipleksattu muutamille eri toiminnoille samoja pinnejä ja USART2:lla niitä oli sopivasti vähemmän käytössä.

## 7 TULOKSET JA PÄÄTELMÄT

Lange-hankkeessa käytössä olevilla Marvellin 88W8686-piirin sisältävillä moduuleilla rajoitteena on, että niille ei voi suoraan kehittää eikä ohjelmoida mitään sovelluksia. Joten pelkillä moduuleilla ei voi toteuttaa hankkeen tavoitteen mukaisia laitteita. Yksityy tähän on, että esimerkiksi aikatahdistusta ei ole mahdollista toteuttaa pelkillä moduuleilla.

### 7.1 Wi2Wi

Mobiiliin laitteeseen W2SW0001-piiri on huomattavasti parempi, kuin Connect Onen ja Lairdin vastaavat moduulit, koska W2SW0001-piirin koko on vain murto-osa muiden piirien koosta. Wi2Wi:n W2SW0001-piirille kokoetua tuo SiP-ratkaisu, kun taas Lairdin ja Connect Onen valmistamat moduulit ovat SoC-ratkaisuja.

### 7.2 Laird

Lairdin WLM400- ja WLM402-moduulit ovat erittäin suorituskykyisiä, mutta tehonsäästötiloista huolimatta ne kuluttavat kohtuuttoman paljon energiaa akkukäyttöisessä laitteessa, joten laitteen käyttöikä on erittäin lyhyt. Tämän takia ne eivät sovellu erityisen hyvin langattoman sensoriverkon sensorisolmuihin eivätkä muihin kannettaviin laitteisiin.

WLM402-moduulin datalehddestä selvisi, että suotuisissa olosuhteissa ja kahta antennia käyttämällä eli antennidiversiteettiä hyödyntämällä moduulilla on mahdollista saavuttaa jopa 1000 m:n kantama, joten se on erinomainen vaihtoehto tilaan, jossa tarvitaan langatonta verkkoa mutta tukiasemia on harvassa. Kuitenkin tässä olisi mieleistä olla jatkuva tehonsyöttö, sillä moduuli kuluttaa raskaassa verkkoliikenteessä akun tyhjäksi melko nopeasti, koska tasan 3 V:n käyttöjännitteellä keskimääräinen virrankulutus jatkuvassa lähetyksessä on 260 mA. Virrankulutusta voidaan kuitenkin hie-  
man laskea käyttämällä 5 V:n käyttöjännitettä, jolloin jatkuvan lähetyksen keskimääräinen virrankulutus on 150 mA.



### 7.3 Connect One

Paras vaihtoehto Connect Onen moduuleilla olisi käyttää Lan to WiFi bridge -tilaa SAM3U4E-mikrokontrolleriin liittämiseksi, koska tällöin olisi mahdollista saavuttaa suurin tiedonsiirtonopeus helpoimmalla toteutuksella. Koska tämä ei kuitenkaan ole mahdollista Atmelin SAM3U4E-mikrokontrollerin kanssa, jää ainoiksi vaihtoehdoiksi käyttää SerialNET-tilaa tai SPI-liitäntää.

Lange-hankkeessa on kuitenkin tutkittu Lan to WiFi bridge -tilan toimintaa Connect Onen moduuleita ja Texas Instrumentsin valmistamia Stellaris LM3S8962 -evaluointialustoja käyttäen. Lan to WiFi bridge -tilatutkimuksessa aikatahdistusmenetelmänä on käytetty IEEE 1588 PTP -protokollaa, jonka versiona oli vuoden 2002 malli eli versio yksi. Stellaris LM3S8962 -mikrokontrollerissa on ollut käynnissä PTPd -taustaprosessi, joka on hoitanut aikatahdistuksen (liite 1 ja liite 2).

SPI-väylä olisi nopeutensa takia parempi vaihtoehto kuin sarjaliikenneväylä, mutta sitä ei voi käyttää, koska Connect One rajoittaa SPI-väylään liitettävien slave-laitteiden määrää. Connect Onen moduulit vaativat SPI-väylässä toimiakseen ainoana slave-laitteena olemista, eli tällöin joudutaan asettamaan SPI-väylän master-laitteen oheislaitte kiinteäksi (fixed peripheral). Tämä vaihtoehto ei toimi Lange-hankkeessa, koska SPI-väylään tulisi voida liittää muitakin laitteita Connect Onen moduulin lisäksi. Tämän menetelmän tutkimuksesta joutui tästä syystä luopumaan ja kohdistamaan tutkimuksen sarjaliikenneväylään.

Connect Onen moduulien liittämiseksi Atmelin mikrokontrolleriin tulee tällöin käyttöön SerialNET-tila. Tässä tilassa suurin tiedonsiirtonopeus on 3 Mb/s, joten SerialNET-tila on noin neljä kertaa hitaampi kuin esimerkiksi SPI-väylä. Tällä menetelmällä on kuitenkin mahdollista liittää Connect Onen moduuli SAM3U4E-mikrokontrolleriin, niin ettei muiden laitteiden mikrokontrolleriin liittäminen esty. Ainoastaan langattoman tiedonsiirron nopeudesta joudutaan tinkimään.

## 8 YHTEENVETO

Tämä opinnäytetyö on esiselvitys kolmen laitevalmistajan WLAN-moduuleista, jotka perustuvat Marvelliin 88W8686-piiriin. Työssä selvitettiin kuinka tutkittuja WLAN-moduuleja voisi hyödyntää langattoman sensoriverkon aikatahdistuksessa ja tiedonsiirrossa.

Opinnäytetyön edetessä työtehtävät muuttuivat monta kertaa. Muutokset aiheutuivat tavallisesti laitteiston asettamista rajoitteista. Tästä syystä olisi työn tekeminen keskeytynyt jo hyvin varhaisessa vaiheessa, mikäli Marvelliin 88W8686-piiriin perustuvien laitteiden tutkimisesta olisi luovuttu. Luovuttaminen ei kuitenkaan olisi ollut hyvä vaihtoehto, joten tässä vaiheessa siirryttiin tutkimaan opinnäytetyöhön alun perin kuulumatonta aihetta, minkä vuoksi opinnäytetyön aihealue hieman laajeni.

Tämä opinnäytetyö oli vasta Lange-hankkeen alkuaskeleita, koska hanke jatkuu vielä tämän opinnäytetyön valmistumisen jälkeen. Hanketta on vielä mahdollista ja tarpeellistakin kehittää. Seuraavaksi hankkeeseen osallistuvien opiskelijoiden on Marvelliin 88W8686-piiriin liittyen mahdollista kehittää edelleen Connect Onen moduulien tuke-  
man SerialNET-tilan hyödyntämistä Atmelin mikrokontrolleriin liittämiseksi.

Lange-hankkeen kannalta työ oli kuitenkin hyödyllinen, koska selvisi, että pelkillä tutkittavana olleilla Marvelliin 88W8686-piiriin pohjautuvilla laitteilla ei ole mahdollista toteuttaa hankkeessa mukana olevien yhteistyökumppaneiden vaatimusten mukaisia toimintoja.

## LÄHTEET

1. Sipilä, Matti. ja Toppinen, Arto. *Langattomien sensoreiden käyttö lääketieteellisessä multiparametrimonitoroinnissa*. Lange, 2010.
2. Väisänen, Juho. *Lange yhteenveto*. Lange, 2010.
3. Yick, Jennifer; Mukherjee, Biswanath ja Ghosal, Dipak. Wireless sensor network survey. [online] 17. 4. 2008. [viitattu: 19. 4. 2011.] <http://www.sciencedirect.com/>.
4. Elson, Jeremy. Time Synchronization in Wireless Sensor Networks. [online] 2003. [viitattu: 2. 4. 2011.] <http://lecs.cs.ucla.edu/~jelson/dissertation-final.pdf>.
5. Haapala, Mika. Network Time Protocol (NTP). [online] 12. 4 2006. [viitattu: 3. 4. 2011.] [http://www2.it.lut.fi/kurssit/05-06/Ti5316800/Linux-tyot/NTP-Miika\\_Haapala-dokumentti.pdf](http://www2.it.lut.fi/kurssit/05-06/Ti5316800/Linux-tyot/NTP-Miika_Haapala-dokumentti.pdf).
6. Internet FAQ Archives. [online] [viitattu: 5. 4. 2011.] <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2030.html>.
7. Marvell Technology Group Ltd. [online] [viitattu: 7. 4. 2011.] <http://www.marvell.com/products/wireless/8686.pdf>.
8. Connect One Ltd. iChip CO2064/CO2128/CO2144 Data Sheet. [online] [viitattu: 9. 4. 2011.] [http://www.connectone.com/media/upload/CO2064\\_2128\\_2144\\_DataSheet.pdf](http://www.connectone.com/media/upload/CO2064_2128_2144_DataSheet.pdf).
9. Connect One Ltd. Nano Socket iWiFi Data Sheet. [online] [viitattu: 7. 4. 2011.] [http://www.connectone.com/media/upload/Nano\\_Socket\\_iWiFi\\_DS.pdf](http://www.connectone.com/media/upload/Nano_Socket_iWiFi_DS.pdf).
10. Connect One Ltd. Yrityksen www-sivut. [online] [viitattu: 7. 4. 2011.] <http://www.connectone.com>.
11. Connect One Ltd. Nano WiReach Data Sheet. [online] [viitattu: 7. 4. 2011.] [http://www.connectone.com/media/upload/Nano\\_WiReach\\_DS%201\\_13.pdf](http://www.connectone.com/media/upload/Nano_WiReach_DS%201_13.pdf).
12. Connect One Ltd. iChip Config Utility User Manual. [online] [viitattu: 12. 4. 2011.] [http://www.connectone.com/media/upload/iChip\\_Config\\_Utility\\_Manual.pdf](http://www.connectone.com/media/upload/iChip_Config_Utility_Manual.pdf).
13. Laird Technologies Inc. Yrityksen www-sivut. [online] [viitattu: 10. 4. 2011.] <http://www.lairdtech.com/>.
14. Wi2Wi Inc. Wi2Wi Inc. [online] [viitattu: 12. 4. 2011.] <http://www.wi2wi.com/index.php>.
15. Atmel Corporation. AT91SAM ARM-based Flash MCU. [online] [viitattu: 20. 4. 2011.] [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc6430.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc6430.pdf).
16. Atmel Corporation. SAM3U-EK Evaluation Kit User Guide. [online] [viitattu: 20. 4. 2011.] [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc6478.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc6478.pdf).



# Experiment report

*Offset computed by the slave using the IEEE 1588 protocol between four Luminary (Stellaris) boards wirelessly connected.*

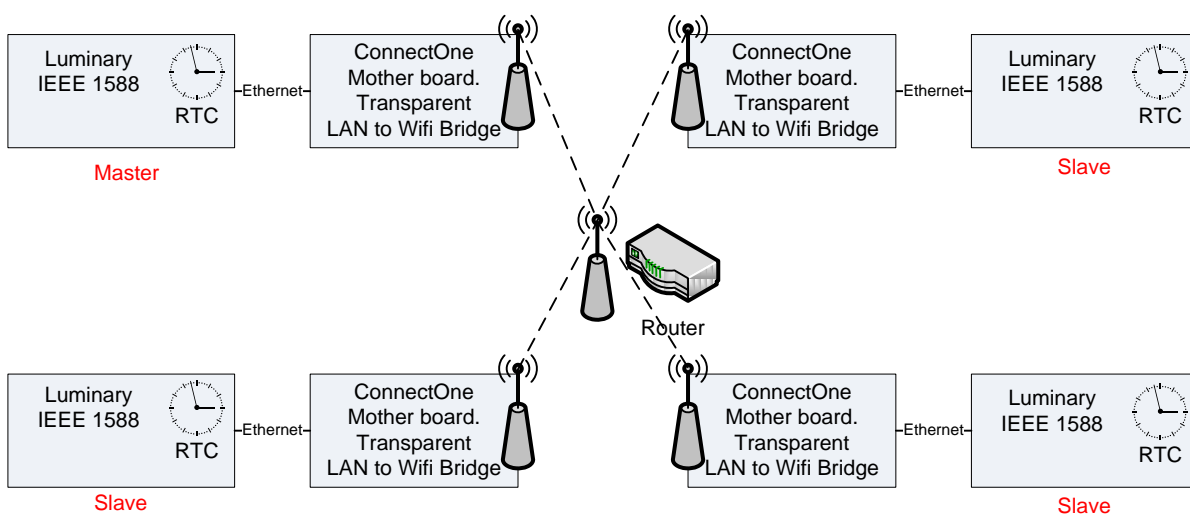
Van Den Broucke Geoffroy, 07/04/11

Project: LANGE

## INTRODUCTION

This brief document describes some results obtained when connecting four Luminary boards and synchronizing them using the IEEE 1588 precision time protocol.

## CONNECTION SCHEME



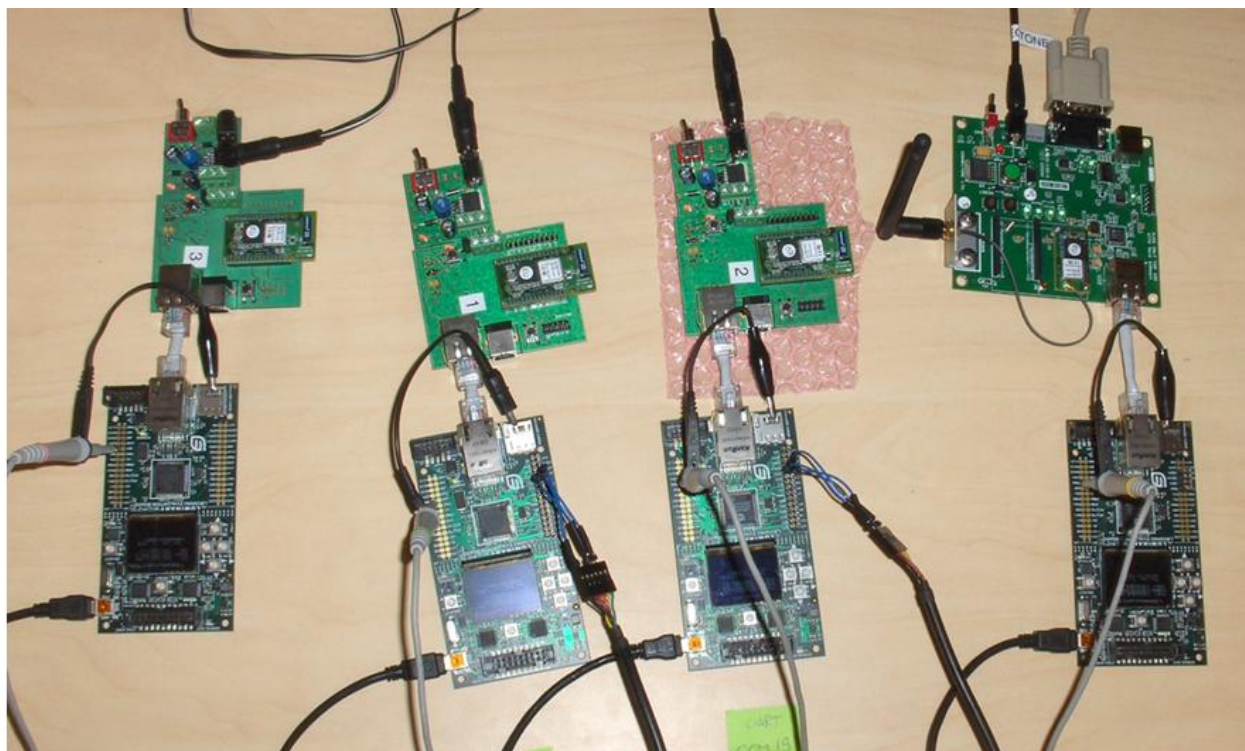
## EXPERIMENT CONDITIONS

- The USB connection to each board allows us to get the time computed by the three slaves.
- An oscilloscope is connected to the PPS (Pulse Per Second) output of the four Luminary boards.

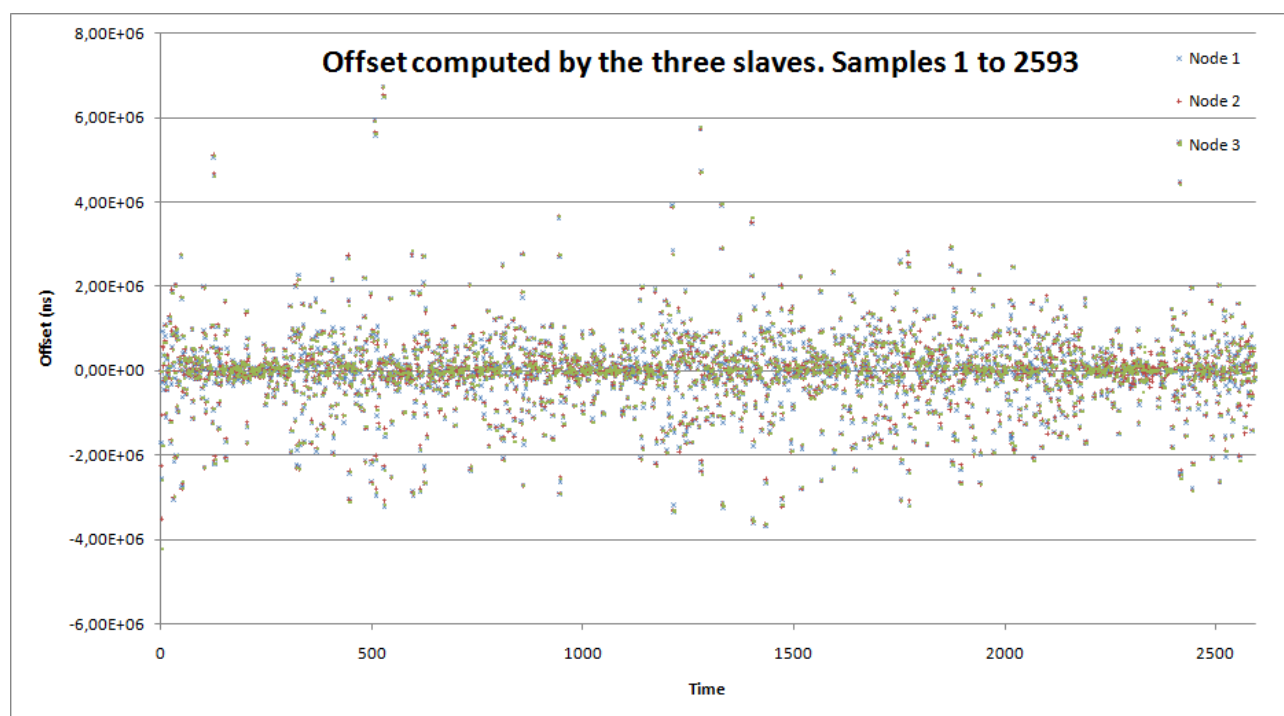
## EXPERIMENT RESULTS

The following results are presented on the next pages with the help of graphics showing the evolution of the computed offset value.

2593 offset values have been computed (in ns) following to the resynchronization rate which seems to be 1 per second. The test has thus been performed during approximately 43 minutes.



Setup tested. The master is the board at the right side. It uses the nano iReach board since we don't have enough ConnectOne modules for now.



(!! Data linked with the excel file). Offset computed by the slaves (master-slave offset **computed by the slave**), in nanoseconds.

# Experiment report

*Offset computed by the slave using the IEEE 1588 protocol between four Luminary (Stellaris) boards wirelessly connected.*

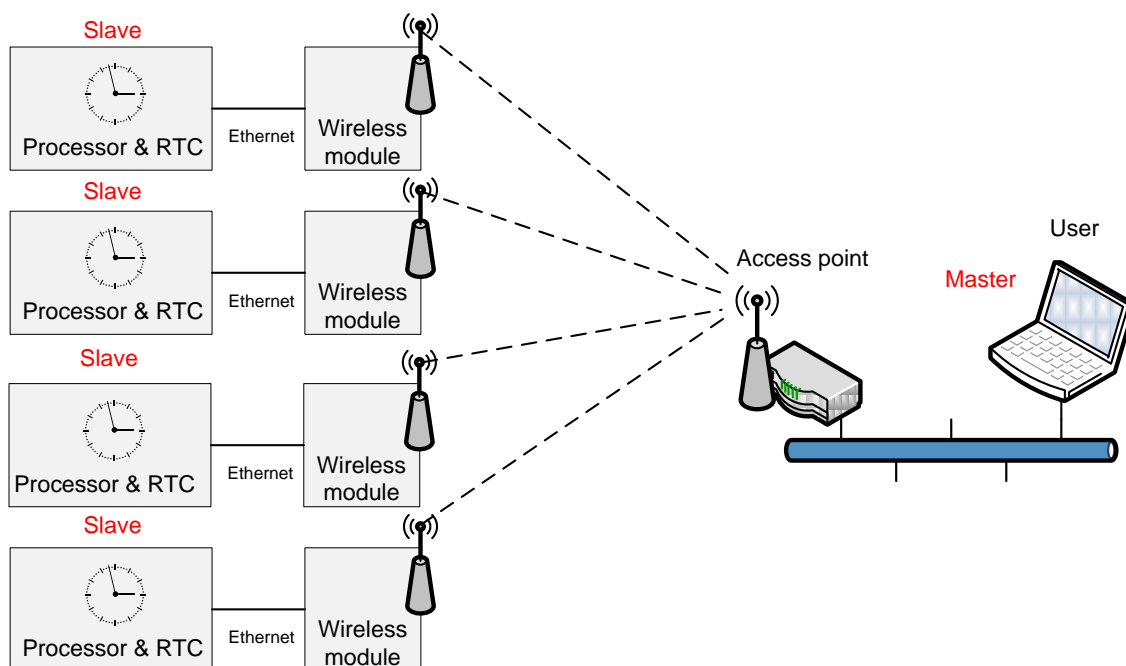
Van Den Broucke Geoffroy, 11/04/11

Project: LANGE

## INTRODUCTION

This brief document describes some results obtained when connecting four Luminary boards and synchronizing them using the IEEE 1588 precision time protocol.

## CONNECTION SCHEME



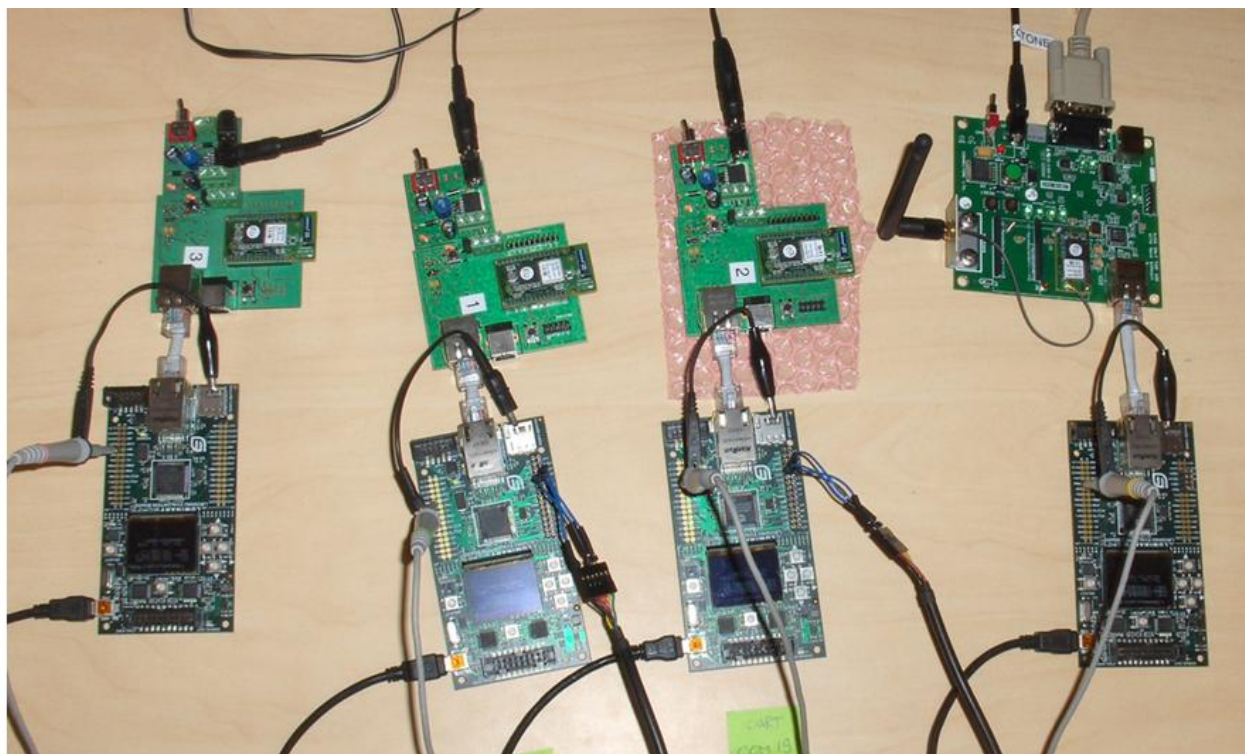
## EXPERIMENT CONDITIONS

- The USB connection to each board allows us to get the time computed by the four slaves.
- An oscilloscope is connected to the PPS (Pulse Per Second) output of the four Luminary boards.

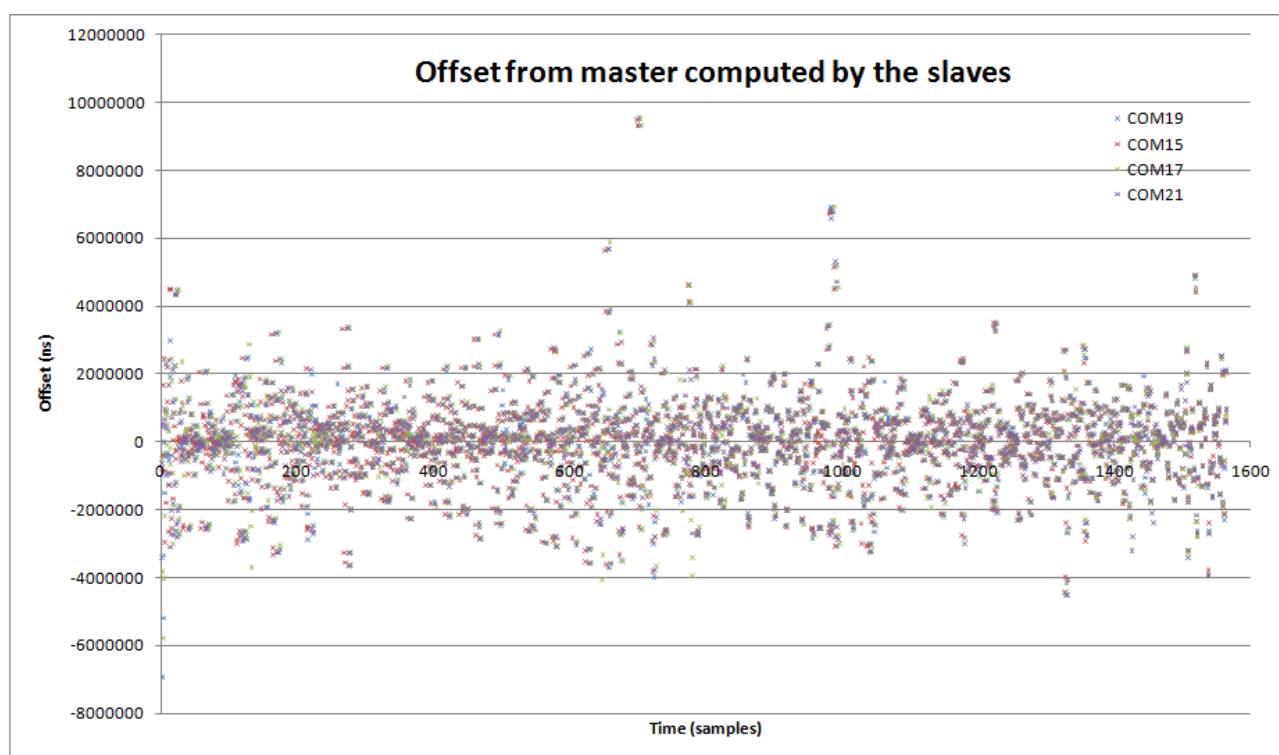
## EXPERIMENT RESULTS

The following results are presented on the next pages with the help of graphics showing the evolution of the computed offset value. 1565 offset values have been computed (in ns).





Setup tested. All boards are slaves. To name the boards, we use the name of the COM port used for getting the data. From left to right, we have: COM19, COM15, COM17 and COM21.



(!! Data linked with the excel file). Offset computed by the slaves (master-slave offset **computed by the slave**), in nanoseconds.





---

[www.savonia.fi](http://www.savonia.fi)

